

RUTE BERGER

**CRESCIMENTO E QUALIDADE DA MADEIRA
DE UM CLONE DE *Eucalyptus saligna* SMITH SOB O
EFEITO DO ESPAÇAMENTO E DA FERTILIZAÇÃO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

UFSM
SANTA MARIA, RS, BRASIL
2000

CRESCIMENTO E QUALIDADE DA MADEIRA DE UM CLONE
DE *Eucalyptus saligna* SMITH SOB O EFEITO DO
ESPAÇAMENTO E DA FERTILIZAÇÃO

por

RUTE BERGER

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Florestal, Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (RS),
como requisito parcial para a obtenção do grau de MESTRE EM
ENGENHARIA FLORESTAL.

Santa Maria, RS, BRASIL

2000

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

A COMISSÃO EXAMINADORA, ABAIXO ASSINADA, APROVA A
DISSERTAÇÃO

CRESCIMENTO E QUALIDADE DA MADEIRA DE UM CLONE
DE *Eucalyptus saligna* SMITH SOB O EFEITO DO
ESPAÇAMENTO E DA FERTILIZAÇÃO

ELABORADA POR
RUTE BERGER

COMO REQUISITO PARCIAL PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM ENGENHARIA FLORESTAL

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Renato Schneider – Orientador

Prof. Dr^a. Maria Aparecida Mourão Brasil – UNESP

Prof. Dr. Clóvis Roberto Haselein – UFSM

Prof. Dr. César A. Guimarães Finger – UFSM

Santa Maria, 05 de maio de 2000.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha existência.

Aos meus pais e aos meus irmãos, pelo incentivo, confiança, e pela vida que me proporcionaram.

À Universidade Federal de Santa Maria, à RIOCELL e à CAPES, pela oportunidade, estrutura e apoio financeiro para a realização deste trabalho.

Aos meus orientadores, Paulo R. Schneider, Clóvis Haselein e César Finger, pela amizade, incentivo, apoio, confiança e compreensão durante todo o trabalho, principalmente nos momentos difíceis.

Aos colegas do setor florestal da RIOCELL, principalmente ao José Totti, Jorge Klein e Joselito Junqueira, pelo apoio, amizade e confiança.

Ao meu pai, pela estrutura e ajuda na confecção dos corpos de prova.

Ao amigo e colega Émerson Cechin, pela preciosa ajuda nos ensaios.

Aos grandes amigos que fiz, André Rosalvo, Fábio Moscovich, Fábio Saidelles, Geedre Borsoi, Luciano Scheeren, Raúl 'Peruano' Schenone, Raúl Pezzuti, Ronaldo Drescher, Rosane Freitas, Sandro Vaccaro, Silvana Caldato, e em especial ao Helio Tonini, pelo apoio e sugestões na revisão do trabalho.

Aos professores e funcionários do Departamento de Ciências Florestais, pela colaboração.

Ao Rafael, por tudo o que fez por mim e pelo que vivemos.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE ANEXOS	xiii
LISTA DE APÊNDICES	xiv
LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS OU SÍMBOLOS	xv
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 A espécie em estudo	4
2.2 A importância do melhoramento florestal	5
2.3 O estudo do crescimento	8
2.4 O efeito do espaçamento	10
2.4.1 Crescimento e produção	14
2.4.2 Qualidade da madeira	19
2.4.3 Produção de massa	28
2.5 O efeito da fertilização	29
2.6 Propriedades mecânicas	33
3 MATERIAL E MÉTODO	37
3.1 Localização da área	37
3.2 Origem do experimento	37
3.3 Características edafoclimáticas	37
3.4 Características do experimento	38
3.5 Obtenção dos dados	38
3.5.1 Estudo do crescimento	38
3.5.2 Determinação da densidade básica	40
3.5.3 Determinação da resistência à flexão estática	41
3.6 Análise estatística	43
3.6.1 Parâmetros dendrométricos	43
3.6.2 Estudo do crescimento	44
3.6.3 Comportamento da densidade básica	45
3.6.4 Resistência à flexão estática	46
3.6.5 Produção de massa seca	47

RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1 Análise dos parâmetros dendrométricos	48
4.1.1 Características dendrométricas nos tratamentos	48
4.1.2 Diâmetro à altura do peito e altura média	49
4.1.3 Volume comercial sem casca por árvore	52
4.1.4 Volume comercial sem casca por hectare	55
4.1.5 Estudo do crescimento	57
4.1.5.1 Crescimento em diâmetro	58
4.1.5.2 Crescimento em altura	61
4.1.5.3 Crescimento em volume comercial sem casca por árvore	66
4.1.5.4 Crescimento em volume comercial sem casca por hectare	70
4.2 Análise das propriedades da madeira	71
4.2.1 Densidade básica	71
4.2.1.1 Relação da densidade básica com variáveis dendrométricas	76
4.2.2 Resistência à flexão estática	79
4.2.2.1 Módulo de Elasticidade	79
4.2.2.2 Módulo de Ruptura	82
4.2.2.3 Relação entre as propriedades mecânicas e a densidade da madeira	85
4.3 Produção de massa seca	87
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	90
5.1 Conclusões	90
5.2 Recomendações	93
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
ANEXOS	104
APÊNDICES	107

RESUMO

CRESCIMENTO E QUALIDADE DA MADEIRA DE UM CLONE DE *Eucalyptus saligna* SMITH SOB O EFEITO DO ESPAÇAMENTO E DA FERTILIZAÇÃO

Autora: Rute Berger

Orientador: Paulo Renato Schneider

O efeito do espaçamento (3 x 2, 3 x 3 e 3 x 4 m) e da adubação (400 e 800 Kg/ha) sobre o crescimento e a qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith foi estudado através deste trabalho. O crescimento em diâmetro (DAP), altura (h) e volume comercial sem casca por árvore (vcsc) foi estudado dos três aos dez anos de idade, sendo os dados ajustados pela função de Backman, onde através de análise de covariância foi possível o agrupamento de curvas com tendências semelhantes de crescimento. A produção em volume comercial sem casca por hectare (V/ha) foi menor para os tratamentos que constituíam o maior espaçamento, sendo que praticamente não diferiu entre os dois menores. Para a avaliação da densidade básica da madeira foram coletados discos de 60 árvores de DAP médio, sendo que de 30 árvores foram retiradas as duas primeiras toras para avaliação da resistência à flexão estática. A análise de variância mostrou que o fator espaçamento influenciou significativamente a densidade básica, o Módulo de Elasticidade (MOE), o Módulo de Ruptura (MOR) e as variáveis dendrométricas DAP, h e vcsc, aos 126 meses de idade. Houve acréscimos significativos para todas estas variáveis quando da utilização de um espaçamento mais amplo. O fator adubação mostrou-se significativo apenas para a densidade básica, MOE e MOR, proporcionando um aumento destas características com a aplicação da maior dosagem de adubo. Para todas estas variáveis foram ajustados modelos matemáticos através do procedimento Stepwise de regressão, utilizando variações dos fatores espaçamento e adubação. Apenas o modelo ajustado para densidade básica apresentou boa precisão. A densidade básica também foi associada às variáveis dendrométricas DAP, h e vcsc, através do mesmo procedimento. O espaçamento e a adubação não influenciaram significativamente a produção em volume comercial sem casca por hectare (V/ha) e a produção de massa seca por hectare (t/ha), aos 126 meses de idade.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

Autora: Rute Berger

Orientador: Paulo Renato Schneider

Título: Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização.

Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal

Santa Maria, 05 de maio de 2000.

ABSTRACT

GROWTH AND WOOD QUALITY OF *Eucalyptus saligna* SMITH CLONE BY SPACING AND FERTILIZATION EFFECTS

Author: Rute Berger

Adviser: Paulo Renato Schneider

The spacing (3 x 2, 3 x 3 and 3 x 4 m) and fertilization (400 and 800 Kg/ha) effects on growth and wood quality of *Eucalyptus saligna* clone were studied in this research. The growth in diameter at breast height (Dbh), height (h) and volume were studied to ages between three and ten years, using the Backman's function. Through the covariance analysis was possible to group curves with same growth pattern. A produção em V/ha foi menor para os tratamentos que constituíam o maior espaçamento, sendo que praticamente não diferiu entre os dois menores. For the basic density evaluations, were collected discs from 60 medium trees, and were collected the first and second logs to the static bending studies. The variance analysis showed that the spacing had a significant effect on basic density, modulus of elasticity (MOE), modulus of rupture (MOR), Dbh, h and volume, at 126 months. There were increases for all these variables when was used the larger spacing. The factor fertilization had a significant effect only on basic density, modulus of elasticity and modulus of rupture, where the increase in the fertilization provided an increase in this characteristics. For all these variables, were fitted mathematic models with Stepwise procedure. Only the model fitted to basic density showed good precision. The basic density also was associated with Dbh, h and volume. The spacing and fertilization hadn't a significant effect in volume and dry mass yield.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
POST GRADUATION PROGRAM IN FOREST ENGINEERING
Master's Dissertation in Forest Engineering
Santa Maria, 5th may, 2000.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Distribuição dos espaçamentos e das doses de adubo nos tratamentos. _____	38
TABELA 2 - Modelos de volume. _____	39
TABELA 3 - Resultados médios e desvio-padrão (σ) de diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total (h) para os tratamentos estudados, aos 126 meses de idade. _____	48
TABELA 4 - Teste de médias para o fator espaço vital para as variáveis DAP e h. _____	50
TABELA 5 - Modelos de regressão obtidos pelo procedimento Stepwise para descrever o diâmetro à altura do peito (DAP), em cm, e a altura total (h), em m, em função do espaço vital (s), em m ² , e das doses de adubação (a), em Kg/ha. _____	51
TABELA 6 - Coeficientes e estatísticas dos modelos testados para volume comercial sem casca por árvore. _____	53
TABELA 7 - Teste de médias para a variável volume comercial sem casca por árvore (vcsc) em função do fator espaço vital, aos 126 meses de idade. _____	54
TABELA 8 - Modelos de regressão obtidos pelo procedimento Stepwise para descrever o volume comercial sem casca por árvore (vcsc), em m ³ , em função do espaço vital (s), em m ² , e das doses de adubação (a), em Kg/ha. _____	55
TABELA 9 - Médias obtidas para a volume comercial sem casca por hectare (V/ha) em função dos fatores adubação e espaço vital, aos 126 meses de idade. _____	56
TABELA 10 - Coeficientes e estatísticas da função de Backman, ajustada para descrever o crescimento do diâmetro à altura do peito (DAP), em cm, ao longo do tempo (anos). _____	58
TABELA 11 - Análise de covariância para testar o paralelismo e diferença entre níveis das curvas de crescimento em diâmetro à altura do peito (DAP) dos tratamentos estudados. _____	60

TABELA 12 - Coeficientes e estatísticas da função de Backman, ajustada para descrever o crescimento do diâmetro à altura do peito (DAP), em cm, ao longo do tempo (anos), para os grupos A, B e C. _____	61
TABELA 13 - Coeficientes e estatísticas da função de Backman, ajustada para descrever o crescimento em altura média, em m, ao longo do tempo (anos). _____	62
TABELA 14 - Análise de covariância para testar o paralelismo e diferença entre níveis das curvas de crescimento em altura média dos tratamentos estudados. _____	64
TABELA 15 - Coeficientes e estatísticas da função de Backman, ajustada para descrever o crescimento da altura média, em m, ao longo do tempo (anos), para os grupos A, B e C. _	66
TABELA 16 - Coeficientes e estatísticas da função de Backman, ajustada para descrever o crescimento em volume comercial sem casca por árvore (vcsc), em m ³ , ao longo do tempo (anos). _____	67
TABELA 17 - Análise de covariância para testar o paralelismo e diferença entre níveis das curvas de crescimento em volume comercial sem casca por árvore (vcsc) dos tratamentos estudados. _____	69
TABELA 18 - Coeficientes e estatísticas da função de Backman, ajustada para descrever o crescimento em volume comercial sem casca por árvore (vcsc) ao longo do tempo, para os grupos A, B e C. _____	69
TABELA 19 - Valores médios e desvio-padrão (σ) de DAP, h e hc das árvores coletadas nos tratamentos avaliados, aos 126 meses de idade. _____	71
TABELA 20 - Valores médios de densidade básica da madeira para os tratamentos estudados, aos 126 meses de idade. _____	72
TABELA 21 - Teste de médias (LSD) para a variável densidade básica (db) em função da adubação e do espaço vital. _____	73
TABELA 22 - Modelo de regressão selecionado pelo procedimento Stepwise para descrever a densidade básica (db), em g/cm ³ , em função do espaço vital (s), em m ² , e da dose de adubação (a), em Kg/ha. _____	75
TABELA 23 - Modelo de regressão selecionado pelo procedimento Stepwise para descrever a densidade básica (db), em g/cm ³ , em função de variáveis dendrométricas DAP, em cm, e h, em m. _____	76

TABELA 24 -Modelo de regressão selecionado pelo procedimento Stepwise para descrever a densidade básica (db), em g/cm^3 , em função de volume comercial sem casca por árvore (vcsc), em m^3 . _____	78
TABELA 25 -Médias de módulo de elasticidade (MOE) para a primeira e segunda toras dos tratamentos estudados, aos 126 meses de idade. _____	79
TABELA 26 -Teste de médias para os fatores adubação, espaçamento e posição da tora, para a variável módulo de elasticidade (MOE). _____	80
TABELA 27 -Modelo de regressão obtido pelo procedimento Stepwise para descrever o módulo de elasticidade (MOE), em Kgf/cm^2 , em função do espaço vital (s), em m^2 , e das doses de adubação (a), em Kg/ha . _____	81
TABELA 28 -Médias de módulo de ruptura (MOR) para a primeira e segunda toras dos tratamentos estudados. _____	82
TABELA 29 -Valores médios de módulo de ruptura (MOR), em Kgf/cm^2 , para os fatores adubação e espaçamento. _____	83
TABELA 30 -Teste de médias para os fatores adubação, espaçamento e posição da tora, para a variável módulo de ruptura (MOR). _____	84
TABELA 31 -Modelos de regressão obtidos pelo procedimento Stepwise para descrever o módulo de ruptura (MOR), em Kgf/cm^2 , em função do espaço vital (s), em m^2 , e das doses de adubação (a), em Kg/ha . _____	85
TABELA 32 -Modelos de regressão obtidos pelo procedimento Stepwise para descrever MOR e MOE, em Kgf/cm^2 , em função da densidade básica média da árvore (db), e da densidade básica da madeira à 12% de umidade (d), em g/cm^3 . _____	86
TABELA 33 -Médias obtidas para toneladas de madeira por hectare (t/ha) em função dos fatores adubação e espaço vital. _____	88

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Valores estimados de diâmetro à altura do peito (DAP) em função da idade, ajustados pela função de Backman, para os tratamentos estudados. _____	59
FIGURA 2 - Valores estimados de altura média em função da idade, ajustados pela função de Backman, para os tratamentos estudados. _____	63
FIGURA 3 - Curvas de crescimento em altura média para os tratamentos 1 (3 x 2 m, 400 Kg/ha) e 4 (3 x 2 m, 800 Kg/ha). _____	65
FIGURA 4 - Curvas de crescimento em altura média para os tratamentos 2 (3 x 3 m, 400 Kg/ha) e 5 (3 x 3 m, 800 Kg/ha). _____	65
FIGURA 5 - Curvas de crescimento em altura média para os tratamentos 3 (3 x 4 m, 400 Kg/ha) e 6 (3 x 4 m, 800 Kg/ha). _____	66
FIGURA 6 - Valores estimados de volume comercial sem casca por árvore (vcsc) em função da idade, ajustados pela função de Backman, para os tratamentos estudados. _____	67
FIGURA 7 - Valores médios de volume comercial sem casca por hectare (V/ha) em função da idade, para os tratamentos estudados. _____	70
FIGURA 8 - Densidade básica média em função do espaço vital e das doses de adubação. _____	72
FIGURA 9 - Dados observados e ajuste do modelo selecionado para descrever a variação da densidade básica em função do espaço vital e das doses de adubação. _____	75
FIGURA 10 - Dados observados e ajuste do modelo selecionado para descrever a variação da densidade básica em função do diâmetro à altura do peito (DAP). _____	77
FIGURA 11 - Dados observados e ajuste do modelo selecionado para descrever a variação da densidade básica em função do volume comercial sem casca por árvore (vcsc). _____	78

LISTA DE ANEXOS

ANEXO I – (Seção 4.1.2) Análise de variância para altura (h) em função do espaço vital (s) e da adubação (a). _____	105
ANEXO II – (Seção 4.1.2) Análise de variância para DAP em função do espaço vital (s) e da adubação (a). _____	105
ANEXO III – (Seção 4.1.3) Análise de variância para V_{csc} em função do espaço vital (s) e da adubação (a). _____	105
ANEXO IV – (Seção 4.1.4) Análise de variância para V/ha em função do espaço vital (s) e da adubação (a). _____	105
ANEXO V – (Seção 4.2.1) Análise de variância para densidade básica (db) em função do espaço vital (s) e da adubação (a). _____	106
ANEXO VI – (Seção 4.2.2.1) Análise de variância para MOE em função do espaço vital (s) e da adubação (a). _____	106
ANEXO VII– (Seção 4.2.2.2) Análise de variância para MOR em função do espaço vital (s) e da adubação (a). _____	106
ANEXO VIII–(Seção 4.3) Análise de variância para t/ha em função do espaço vital (s) e da adubação (a). _____	106

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – (Seção 4.1.2) Análise gráfica de resíduos do modelo de regressão: $DAP = b_0 + b_1.s$ _____	108
APÊNDICE B – (Seção 4.1.2) Análise gráfica de resíduos do modelo de regressão: $h = b_0 + b_1.s + b_2.a^3 + b_3.\frac{1}{s}$ _____	108
APÊNDICE C – (Seção 4.1.3) Análise gráfica de resíduos do modelo de regressão: $\ln v = b_0 + b_1.\ln d + b_2.\ln^2 d + b_3.\ln h + b_4.\ln^2 d$ _____	108
APÊNDICE D – (Seção 4.1.3) Análise gráfica de resíduos do modelo de regressão: $vcsc = b_0 + b_1.s$ _____	109
APÊNDICE E – (Seção 4.2.1) Análise gráfica de resíduos do modelo de regressão: $db = b_0 + b_1.s^2 a$ _____	109
APÊNDICE F – (Seção 4.2.1.1) Análise gráfica de resíduos do modelo de regressão: $db = b_0 + b_1.DAP^3$ _____	109
APÊNDICE G – (Seção 4.2.1.1) Análise gráfica de resíduos do modelo de regressão: $db = b_0 + b_1.vcsc^3$ _____	110
APÊNDICE H – (Seção 4.2.2.3) Análise gráfica de resíduos do modelo de regressão: $MOE = b_0 + b_1.d^2$ _____	110
APÊNDICE I – (Seção 4.2.2.3) Análise gráfica de resíduos do modelo de regressão: $MOR = b_0 + b_1.\ln d$ _____	110

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS OU SÍMBOLOS

PIB	Produto Interno Bruto
%	porcentagem
°C	graus Celsius
°	graus
'	minutos
m	metros
cm	centímetros
mm	milímetros
m ²	metro quadrado
m ³	metro cúbico
m ² /ha	metros quadrados por hectare
m ³ /ha	metros cúbicos por hectare
V/ha	volume comercial sem casca por hectare
t/ha	tonelada por hectare
t/ha/ano	toneladas por hectare ano
Kg/ha	quilogramas por hectare
Kgf/cm ²	quilograma-força por centímetro quadrado
g/cm ³	gramas por centímetro cúbico
mm/min	milímetros por minuto
IMA	incremento médio anual
DAP	diâmetro à altura do peito
h	altura média total
hc	altura comercial
vcsc	volume comercial sem casca por árvore
db	densidade básica
PSF	ponto de saturação das fibras
MOE	módulo de elasticidade
MOR	módulo de ruptura
ln	logaritmo neperiano
F _{calc.}	valor de F calculado
F _{tab.}	valor de F tabelado
R ²	coeficiente de determinação
S _{yx}	erro padrão da estimativa
IF%	índice de Furnival
Prob>F	nível de probabilidade de erro
σ	desvio-padrão
LSD	Least Significant Difference
FOSNAP	fosfato natural ativado

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o setor florestal ocupa papel relevante na economia, apesar do término dos incentivos fiscais ocorrido em meados da década de 80. Em 1996, segundo SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA (1998), o setor contribuiu com 2% do produto interno bruto (PIB) e com cerca de 4 bilhões de dólares em exportações. O país ocupa o sétimo lugar na produção mundial de celulose e suas indústrias contribuem com cerca de 47% da produção mundial de celulose branqueada de eucalipto.

O gênero *Eucalyptus* é amplamente plantado no Brasil para a produção de madeira para diversas finalidades, em função do seu rápido crescimento, da boa adaptação ecológica e da boa qualidade da madeira. O *E. saligna*, juntamente com outras como o *E. grandis* e o *E. urophylla*, é uma das espécies mais estudadas. São espécies que, de modo geral, apresentam características satisfatórias para emprego em diversos fins, principalmente para a indústria de celulose/papel, chapas de fibra e uso energético. A utilização do gênero para serraria não é significativa no Brasil, dada ainda, a relativa disponibilidade de madeira de espécies nativas da Bacia Amazônica e, também, devido a um certo tabu; ou até mesmo pela falta de informações técnicas sobre as suas características. Sabe-se todavia, que existem algumas dificuldades na sua utilização devido às perdas decorrentes de tensões de crescimento e colapso na secagem (SCHACHT, 1998).

Há porém, empresas reflorestadoras que, conhecendo o potencial técnico e a viabilidade econômica das madeiras de reflorestamento, já desenvolveram novas linhas de produtos, cujo apelo de marketing vai direto ao interesse de consumidores que se importam com a produção sustentada e manutenção da biodiversidade através da preservação das florestas nativas.

Com isto, as exigências do mercado consumidor de produtos florestais aumentam a cada dia. As indústrias requerem cada vez mais florestas

altamente produtivas e matéria-prima com altos padrões de qualidade e uniformidade, a fim de obter produtos com melhores características e que agreguem maior valor.

Para que isto seja possível, é interessante que as práticas silviculturais e as técnicas de manejo da floresta estejam aliadas a uma ou mais estratégias de melhoramento florestal, para prover materiais genéticos diversificados e melhorados em quantidade e qualidade. É muito importante que, de forma conjunta, sejam determinados os melhores genótipos para cada sistema de manejo e sítios onde serão estabelecidos os povoamentos florestais.

Esta associação já tem propiciado incrementos significativos na produtividade e na qualidade da madeira dos reflorestamentos.

A utilização de clones para a formação de florestas foi um dos avanços que possibilitou maior produção, melhoria da qualidade e homogeneização da matéria-prima utilizada pela indústria. Porém, a adoção de técnicas de implantação e manejo visando a obtenção de povoamentos regulares e produtivos, que satisfaçam economicamente as condições de implantação e colheita, continua indispensável, quando se trata de obter plantios com fins industriais.

Entre os diversos fatores condicionantes da produção florestal, o espaçamento e a fertilização exercem papéis fundamentais no estabelecimento, condução da floresta e custos de produção, uma vez que podem influenciar a taxa de crescimento das árvores, a qualidade da madeira, a idade de corte, bem como práticas de implantação, manejo e colheita (BALLONI & SIMÕES, 1980).

Em florestas de ciclo curto o espaçamento pode afetar direta e rapidamente a qualidade da madeira produzida. Os espaçamentos mais amplos utilizados atualmente nos plantios clonais favorecem a produção de madeira em dimensões mais apropriadas para as indústrias, mas não se tem certeza da sua influência sobre os diversos parâmetros que compõem a qualidade da madeira. Somente a intensificação das pesquisas em torno da qualidade da madeira em florestas clonais e suas relações com as técnicas silviculturais poderão trazer as respostas.

Torna-se necessário então, o desenvolvimento de estudos com a finalidade de observar o comportamento do crescimento e determinar as características físicas e mecânicas da madeira de clones de eucalipto, gerando informações que possam dar suporte para a indicação das aplicações mais adequadas. O estudo do comportamento destas propriedades frente às práticas silviculturais e técnicas de manejo é de grande importância, visto que o conhecimento destas características é uma necessidade quando o interesse for a determinação da utilidade da madeira.

O presente trabalho teve como objetivo geral estudar o crescimento e a qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna*, em três espaçamentos e duas doses de adubo químico. E, os objetivos específicos foram:

- a) Estudar o comportamento das variáveis dendrométricas (diâmetro, altura e volume) do clone de *E. saligna* em função dos espaçamentos e das doses de adubo químico, ao longo do tempo;
- b) avaliar o comportamento da densidade básica da madeira e de algumas variáveis dendrométricas do clone em função dos espaçamentos e das doses de adubo, aos 126 meses de idade;
- c) verificar a influência dos espaçamentos e das doses de adubo sobre a resistência à flexão estática da madeira do clone de *E. saligna*;
- d) estabelecer modelos matemáticos relacionando espaçamento, doses de adubo e densidade da madeira às propriedades de flexão estática.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A espécie em estudo

As árvores do gênero *Eucalyptus* pertencem à família Myrtaceae, sendo conhecidas aproximadamente 700 espécies, diversas variedades, híbridos naturais e artificiais. Compreendem desde árvores de grande porte (100 m de altura) até pequenos arbustos ornamentais, abrangendo cerca de 95% da área florestal natural da Austrália e Tasmânia (MANGIERI & DIMITRI, 1971).

Segundo GONZAGA (1983), o gênero *Eucalyptus* ocupa uma extensa e fragmentada área da faixa costeira da Austrália, desde 36° a 21° de latitude Sul, em altitude variando desde o nível do mar até 1000 m. A temperatura máxima varia de 24 a 33 °C e a mínima de -2 a 8 °C.

MANGIERI & DIMITRI (1971), destacam que este é o gênero que adquiriu maior importância nos plantios comerciais na América do Sul, dada a sua grande variedade de espécies e boa adaptação em países de clima temperado, tropical e/ou subtropical.

No Brasil, mais especificamente na região centro-sul do país, o gênero *Eucalyptus* tem sido utilizado como principal fonte de matéria-prima para a indústria de celulose e papel, desde meados deste século. Isto é devido à sua ampla capacidade de adaptação, seu rápido crescimento, alta produtividade e qualidade dos produtos obtidos (VALERA & KAGEYAMA, 1988).

Sendo assim RIZZINI (1978), em seus estudos sobre as espécies brasileiras, não pode deixar de considerar a importância deste gênero, apesar de constituir uma espécie exótica. O autor apresenta uma breve descrição das principais espécies do gênero, destacando *E. paniculata*, *E. globulus*, *E. citriodora*, *E. camaldulensis*, *E. grandis* e *E. saligna*, entre outras.

Dentre estas espécies, o *Eucalyptus saligna* é destacado por apresentar elevado potencial de adaptação e crescimento (VALERA & KAGEYAMA, 1988; KIKUTI & NAMIKAWA, 1990). Segundo BARROS et al. (1990), a espécie é típica de clima quente e úmido, onde a precipitação anual varia de 1.000 a 1.800 mm. Tolera solos moderadamente férteis, com boa retenção de umidade, porém devem ser bem drenados. A espécie é bastante resistente à ocorrência de geadas, tolerando temperaturas abaixo de 8 °C, sendo mais resistente que o *E. grandis* (TURNBULL & PRYOR, 1978).

2.2 A importância do melhoramento florestal

A alta variabilidade do material genético florestal utilizado para pesquisa é citada por vários autores como um grande problema para a avaliação de seus trabalhos. Estudando a densidade básica da madeira de três espécies de eucalipto, FERREIRA (1968) concluiu haver alta variabilidade dentro e entre as espécies. Também BRASIL & FERREIRA (1971), em estudos sobre a variação da densidade básica entre espécies, espaçamentos e locais, afirmam que o material genético utilizado, apesar de constituir o mesmo lote de sementes, apresentava alta porcentagem de híbridos e conseqüente variabilidade excessiva. MELLO et al. (1976), em experimento realizado com diferentes espaçamentos, utilizando sementes colhidas de matrizes selecionadas do Horto Navarro de Andrade, em Rio Claro-SP, concluíram, através de análises botânicas paralelas, que a descendência das mesmas era muito variável, provocando grandes diferenças fenotípicas nas parcelas.

A alta variabilidade em um mesmo lote de sementes pode ocasionar erros não perceptíveis em uma comparação entre parcelas de diferentes tratamentos. Ou seja, a real diferença entre tratamentos pode estar mascarada pela alta variabilidade entre os indivíduos de um mesmo tratamento. Também BRASIL (1972), observou que as variações genotípicas em um mesmo local foram tão grandes que mascararam o efeito do ritmo de crescimento sobre a densidade básica da madeira.

Segundo SILVEIRA & HIGASHI (1999), uma forma de evitar a alta variabilidade das populações florestais é a implantação de povoamentos clonais. No Brasil, a produção maciça de mudas clonais iniciou-se na região litorânea do Espírito Santo, em 1979. Esta estratégia permite a reprodução de árvores com características genéticas idênticas ou semelhantes às da árvore matriz, pois o processo de propagação vegetativa não inclui meiose, o que faz com que os rametes (brotações originárias da planta doadora) sejam geneticamente idênticos aos ortetes (planta doadora).

Existem porém, variações fenotípicas consideráveis dentro de uma população constituída por um mesmo clone, que podem ser causadas por efeitos ambientais (solo, clima, fotoperíodo, nutrição, competição, tratos culturais, pragas e doenças) ou a fatores relacionados ao propágulo (SILVEIRA & HIGASHI, 1999).

Os autores ressaltam ainda, que o estado de maturação da planta tem um grande efeito na facilidade de propagação e subsequente desenvolvimento dos propágulos. Fases diferenciadas de maturação entre clones podem ocasionar um aumento artificial da variação clonal, o que possibilita estimativas de parâmetros genéticos tendenciosas. Além disso, os autores destacam outros problemas:

- Os rametes propagados de partes diferentes de uma mesma árvore podem desenvolver-se de modo diferente, devido às características diferenciadas de juvenilidade dos tecidos;
- os propágulos de árvores adultas, em geral crescem diferentemente daqueles originados de árvores jovens e nem sempre expressam as características associadas com a forma de crescimento juvenil;
- as condições ambientais em que se encontram as árvores doadoras podem afetar seu desenvolvimento, principalmente na qualidade dos rametes;
- a influência da ciclófise (processo de maturação dos meristemas apicais), topófise (estado resultante da diferenciação no potencial fisiológico e de desenvolvimento dos meristemas apicais entre as posições hierárquicas dos ramos) e da perifise (efeito do ambiente

no pré-condicionamento do material vegetal) em propágulos de um mesmo genótipo produz desempenhos diferenciados à campo.

Além disso, SCHACHT (1998), destaca que os efeitos da idade fisiológica não influenciam somente o crescimento de plântulas e árvores, mas também as características básicas da madeira. O autor cita um estudo de Nicholls et al., que compararam o efeito da ciclófise sobre a variação da grã espiralada dos anéis de crescimento entre rametes propagados de ortetes maduros e rametes propagados de ortetes juvenis. Estes autores observaram que uma árvore originada de um propágulo juvenil tende a reproduzir os mesmos ângulos de grã da árvore mãe, ao contrário de uma árvore originada de ortetes maduros.

Apesar da possibilidade de consideráveis variações fenotípicas entre as árvores de uma mesma população clonal, essas provavelmente não terão a grandeza daquelas decorrentes de povoamentos oriundos de sementes. MORA (1986), encontrou baixos valores de coeficiente de variação experimental em seu trabalho, justificando-os pelo maior controle das variações ambientais, uma vez que a utilização de clones aumenta a precisão de um experimento, pois a variação genética é nula. Esta estratégia permite a seleção de características desejáveis, principalmente para as espécies do gênero *Eucalyptus*. As espécies deste gênero apresentam alta variabilidade genética, alta capacidade de hibridação e alta herdabilidade para diversas características, permitindo a seleção de genótipos superiores não somente em crescimento, mas também em qualidade da madeira. Dentre as características de qualidade, destaca-se a densidade básica, altamente herdável e intimamente relacionada com as demais propriedades da madeira e derivados.

A densidade básica é considerada ideal para manipulação genética, devido à grande variação individual, baixa interação genótipo x ambiente e pelos seus efeitos sobre a produção e qualidade da madeira (SCHILLING, 1996).

Vários estudos têm sido desenvolvidos com o objetivo de avaliar os efeitos das propriedades químicas e físicas da madeira na qualidade da

polpa de eucalipto. A preocupação fundamental das relações é conseguir traduzir propriedades da polpa em propriedades da madeira, para possibilitar a seleção e melhoramento para as características desejadas (FONSECA et al., 1996).

Quando a característica desejada é de difícil ou imprecisa obtenção, SCHACHT (1998) sugere o melhoramento destes caracteres através de seleção indireta, apresentando a vantagem de ser um indicador não destrutivo, sendo a seleção indireta preferível em relação a direta.

2.3 O estudo do crescimento

A previsão do crescimento de uma floresta, através de curvas de projeção do desenvolvimento em diâmetro, altura e volume, é a condição básica em qualquer processo de planejamento racional.

Alder apud COUTO & BASTOS (1986), destaca diversas razões para a predição de crescimento, tais como o planejamento da produção, através da determinação da idade ótima e econômica de corte; o planejamento e a pesquisa silvicultural que permitem agrupar espécies e procedências, e analisar eficientemente os experimentos florestais; o manejo ambiental e pesquisa ecológica, visando estudos de luminosidade, biomassa e exportação de nutrientes nas diversas fases de crescimento, assim como relacionar ciclos de crescimento com informações indispensáveis para o manejo da fauna.

A importância econômica e social das espécies do gênero *Eucalyptus* plantadas no Brasil faz com que um sistema de curvas de crescimento, fundamentado em base de dados suficiente, tenha uma ampla aplicação prática, auxiliando aqueles que necessitam tomar decisões eficientes quanto à aplicação das madeiras deste gênero.

A necessidade crescente de conhecimento da situação presente dos povoamentos, bem como sua dinâmica, tem conduzido a um contínuo aprimoramento das técnicas de construção de modelos de crescimento e produção, os quais podem ser definidos como um conjunto de relações matemáticas que descrevem quantitativamente um sistema, representado

neste caso pelo povoamento florestal. Além de informações sobre o estoque presente e suas mudanças com o tempo, é de interesse para o manejador conhecer o efeito da aplicação de técnicas silviculturais como o controle do espaçamento, intensidade de desbaste e adubação (CAMPOS et al., 1986).

A necessidade de projetar volume de madeira de Eucalyptus já era manifestada por Heinsdijk em 1965, que apresentou tabelas de crescimento e rendimento baseadas em dados obtidos em diversas regiões do Brasil. Entretanto, somente no fim da década de setenta, Ferreira apud COUTO & BASTOS (1986), apresentou a proposta de um sistema de equações lineares simultâneas, que por sua simplicidade e eficiência foi adotado por algumas empresas florestais.

Através do uso de modelos matemáticos de predição de crescimento e produção é possível o estudo de alternativas de manejo para diferentes condições de sítio, idades de desbaste e níveis de intervenção. Ao nível de indústria, os modelos de crescimento fornecem informações para o planejamento global da empresa, ao possibilitar a estimativa da disponibilidade futura de madeira, permitindo à empresa dimensionar áreas, prever expansões, adquirir ou vender madeira no mercado, entre outros (MARCOLIN & COUTO, 1993).

Os modelos de crescimento podem ser classificados em três tipos principais, segundo as variáveis e o tipo de dados requeridos, isto é, modelos que consideram o povoamento como um todo, modelos baseados na distribuição dos diâmetros e modelos baseados em árvores individuais. Dentro de cada tipo, diferentes métodos podem ser adotados na sua construção, conforme procedimento idealizado por diferentes autores. Modelos do primeiro tipo informam sobre o povoamento sem quantificar a distribuição de volume por classe de diâmetro. Geralmente fornecem estimativas exatas, não sendo difíceis de ser ajustados (CAMPOS et al., 1986).

FINGER (1992), apresenta algumas funções para descrever o crescimento da floresta em função do tempo, destacando as funções de Korsun, Richards, Mitscherlich e Backman. Esta última, também denominada

lei de Backman, foi baseada na observação de que os seres vivos se desenvolvem em três etapas: juventude, fase adulta e senescência.

Moser & Hall apud GUIMARÃES (1982), enfatizam que os dados ideais para prover uma função de crescimento deveriam ser os coletados periodicamente nos povoamentos, desde a implantação até a idade de corte.

A possibilidade de determinação da época ideal de corte com base no máximo rendimento volumétrico constitui a principal aplicação prática dos modelos de crescimento (CAMPOS et al., 1986; GUIMARÃES, 1982).

HUSCH et al. (1972), afirmam que cada espécie e talvez cada árvore necessita de um determinado período para completar seu ciclo biológico. Os autores destacam que através de técnicas silviculturais, como a adoção de diferentes espaçamentos iniciais e a aplicação de fertilizantes, pode-se mudar o comportamento do crescimento e antecipar o culmínio das curvas de incremento.

2.4 O efeito do espaçamento

O espaçamento tem influência marcante na produção e qualidade da madeira. É preciso tomar toda a precaução para decidir sobre o espaçamento inicial, principalmente no manejo de povoamentos de eucalipto cujo objetivo é a produção de madeira industrial de rápido crescimento e densidade adequada. As decisões sobre espaçamentos não podem ser tomadas sem o conhecimento mais preciso da influência dos mesmos na qualidade dos produtos obtidos (BRASIL & FERREIRA 1971).

Os espaçamentos entre plantas muitas vezes são determinados de maneira empírica, devendo-se às práticas comuns locais. Esta constatação pode ser observada nos dias atuais, onde o fator espaçamento ainda não é empregado de forma correta em relação ao objetivo a que se destina o plantio e em relação às adaptações locais.

A determinação dos espaçamentos depende, com freqüência, das ferramentas ou maquinários empregados na preparação do local de plantio, do próprio cultivo e da tendência de se facilitar a colheita da futura floresta. Muitos são os fatores que determinam o espaçamento a ser empregado nos

plantios: a forma como crescem e se desenvolvem as raízes; o solo e a sua profundidade; o crescimento e desenvolvimento da copa em relação à tolerância das espécies e às podas naturais e a finalidade dos plantios. Ao se eleger o espaçamento mais adequado, deve-se dar a cada indivíduo espaço suficiente para conseguir o máximo crescimento sem desperdício de espaço (FAO, 1960).

O espaçamento é uma das variáveis, dentre as que atuam sobre o crescimento de um povoamento, que pode ser controlada eficientemente pelo silvicultor, desempenhando um papel muito importante quando se deseja produzir madeira de boa qualidade.

Além de ter influência marcante na produção, o espaçamento afeta significativamente os custos de implantação (VALE et al., 1982), manutenção e exploração da floresta (MELLO et al., 1976) e pode afetar a qualidade da madeira produzida (WEHR, 1982).

RENSI COELHO et al. (1970), em estudo de diferentes espaçamentos para *Eucalyptus propinqua* e *Eucalyptus grandis*, concluíram que a menor competição entre as árvores resulta em menor porcentagem de dominadas e conseqüente maior uniformidade do povoamento, com reflexos favoráveis ao volume aproveitável final.

GUIMARÃES (1957), cita as seguintes vantagens da adoção de espaçamentos amplos:

- As árvores apresentam maior desenvolvimento individual, permitindo sua utilização para fins mais nobres;
- maior facilidade de mecanização de várias operações agrícolas após o plantio;
- maior facilidade de mecanização florestal, como tratos culturais, melhorando a qualidade das árvores plantadas;
- na colheita há maior facilidade na extração de lenha;
- diminuição da taxa de mortalidade; e,
- menor proporção de árvores dominadas.

Assim, a tendência atual para espaçamentos maiores visa a produção de menor volume total de madeira, mas de melhor qualidade, baseada em

diâmetros maiores. FISHWICK (1976) e GUIMARÃES (1957), destacam que espaçamentos mais amplos geralmente ocasionam lucros financeiros maiores. Além disto, o primeiro cita como vantagens destes espaçamentos:

- Menor custo de implantação em relação ao número de árvores;
- toras de maior diâmetro nos primeiros desbastes e nas árvores de corte final;
- desbastes antieconômicos nos primeiros anos podem ser evitados;
- as rotações podem ser mais curtas para a produção de toras de tamanhos pré-determinados.

Então, as árvores plantadas em espaçamentos amplos, dentro de certos limites, crescem mais rapidamente do que aquelas plantadas em espaçamentos estreitos. Porém, em determinada idade elas terão maior tendência ao forquilhamento devido à ação dos ventos (WEHR, 1982), maior conicidade, maior tortuosidade, ramos mais grossos e copas mais extensas que árvores em plantios mais densos (COUTO et al., 1977). Também existe a possibilidade destas árvores favorecerem a formação de maior proporção de lenho de reação (DANIEL et al., 1979). JOHNSTON et al. (1967), ainda ressaltam que a produção de galhos mais grossos, devida ao espaçamento, pode ocasionar dificuldades no descasque (nós salientes) e na digestão dos nós na fabricação de polpa. Porém, Rezende segundo SILVA (1990), ressalta que os espaçamentos mais fechados aumentam os custos de produção e de exploração, mais que proporcionalmente à produtividade por área; o inverso ocorre com os demais grupos de custos.

Já como vantagens de espaçamentos reduzidos, FISHWICK (1976) destaca:

- Alta produção de volume total em menor tempo;
- plantios de reposição desnecessários, devido ao número elevado de plantas;
- rápidos rendimentos financeiros provenientes de desbastes (onde existe mercado);
- galhos menores e menor conicidade de fuste; e,

- rápido fechamento do dossel, reduzindo o surgimento de plantas invasoras.

TAYLOR (1969), afirma que há vantagens no uso de um espaçamento inicial reduzido, visto que proporciona um número elevado de árvores jovens, o que permite uma boa seleção das melhores, quando das primeiras operações de limpeza e desbaste. Um espaçamento menor promove um processo eficiente de desrama natural, do que resulta madeira de boa qualidade a ser obtida no estágio final de manejo do povoamento. Assim, o plantio em espaçamento reduzido teria a vantagem de proporcionar uma cobertura eficiente do solo pelas copas das árvores em um estágio inicial, de modo que por um tempo o solo é protegido e o desenvolvimento de ervas daninhas é suprimido.

SILVA (1990), afirmou existir uma tendência de aumento da mortalidade das árvores em plantios mais densos. Nos espaçamentos menores, além da mortalidade natural atribuída a fatores aleatórios, houve mortalidade adicional, devido à competição entre as árvores, a partir do momento em que se verificou plena ocupação da área disponível para o crescimento. Neste mesmo sentido, COUTO (1977), BALLONI & SIMÕES (1980) e SOUZA (1995), entre outros, também encontraram maiores porcentagens de mortalidade em espaçamentos menores. Já SCHÖNAU (1974), afirma que em seu trabalho a mortalidade foi independente do espaçamento de plantio, considerando densidades de 1196, 1329, 1945 e 1707 árvores por hectare.

Todavia, JOHNSTON et al. (1967), consideram que as perdas de plantas por mortalidade em espaçamentos reduzidos são menos significativas e não existe grande necessidade de reposição de plantas. Porém, em relação aos custos de reposição, os autores destacam que estes praticamente não variam em função do espaçamento, embora a substituição de plantas seja mais justificada nos espaçamentos mais amplos.

O espaçamento das plantações florestais não deve, portanto, ser rígido. Há necessidade de se considerar a qualidade e o peso/volume de madeira a ser produzida, bem como o local (sítio), hábitos de crescimento,

espécie, sobrevivência esperada, objetivos do produto, futuros tratamentos silviculturais e o tipo de equipamento a ser empregado na implantação e colheita do povoamento (COUTO et al., 1977).

2.4.1 Crescimento e produção

Vários autores, entre eles SCHÖNAU (1974), FISHWICK (1976), COUTO et al. (1977), SIMÕES et al. (1980), SCHNEIDER (1993), YARED et al. (1993), dentre muitos outros, confirmam a influência do espaçamento entre árvores sobre as características de crescimento (volume, diâmetro e/ou altura) e sobrevivência dos povoamentos. Já é consagrado, com poucas contestações, que espaçamentos reduzidos produzem menores diâmetros das árvores, sendo que, em termos de produção total por área, estes apresentam maior área basal e volume por hectare. O contrário ocorre em maiores espaçamentos.

Na primeira parte da vida de uma cultura, a produção total em volume será menor em um espaçamento mais amplo em relação a um espaçamento mais apertado. SILVA (1990) ressalta que, na teoria, os povoamentos em espaçamentos amplos permanecem subestocados até que as copas e os sistemas radiculares se fechem, havendo portanto, perda de produção, pois o tempo para que haja plena ocupação da área será maior, mesmo que no final a produção volumétrica seja a mesma.

Contudo SCHNEIDER (1993), afirma que o volume total por hectare aumenta com o número de árvores até que se alcance certa densidade de plantio (densidade crítica), após a qual o incremento no número de árvores ocasiona a redução do volume total por hectare. A densidade crítica é variável entre as espécies e é provável que também mude com a qualidade de sítio e com a idade. Também com o aumento da idade dos povoamentos a diferença entre uma escala ampla de diferentes espaçamentos pode diminuir e tender a equivalência (JOHNSTON et al. 1967; YARED et al. 1993).

MORA (1986), mostra que a resposta das plantas ao aumento do espaçamento varia com a espécie, havendo aquelas que respondem desde

positivamente até negativamente ao aumento do espaçamento, em relação às características de crescimento estudadas.

Teoricamente, a competição entre plantas em busca de luz é muito mais intensa nos espaçamentos mais reduzidos, em função da necessidade da árvore ampliar ao máximo a superfície foliar e cobrir sua necessidade de assimilação, estimulando assim, o crescimento em altura (SILVA, 1990). Da mesma maneira, PATIÑO-VALERA (1986), afirma que as árvores de espaçamentos mais densos crescem mais rapidamente em altura em relação àquelas de espaçamentos mais amplos e, em determinada idade, serão mais cilíndricas, terão menor espessura de casca e copa menor, em função da busca de melhores condições.

ASSIS et al. (1999), estudando o comportamento de *E. urophylla* em função de diferentes espaçamentos, encontraram maior altura aos 49 meses de idade para as árvores pertencentes aos espaçamentos mais reduzidos (3 x 2 m), concluindo ser este fato devido à maior competição e conseqüente busca por luz.

No entanto, é importante observar a idade de avaliação, pois podem ocorrer mudanças em idades mais avançadas.

Todavia, em um estudo com distintos espaçamentos para *Eucalyptus grandis*, foram observadas pequenas diferenças no crescimento em altura das árvores, relacionadas com o nível de competição estabelecido entre os indivíduos de cada tratamento, pela busca de recursos que permitem o crescimento (água, luz e nutrientes). Esta circunstância provocou um maior número de indivíduos dominados e uma mortalidade mais alta nas densidades maiores, e por conseqüência, a altura média do povoamento tendeu a ser menor (LOPEZ & APARICIO, 1995).

Uma diminuição da altura média com o uso de espaçamentos menores também foi observada por BALLONI & SIMÕES (1980), que comentaram a existência de várias controvérsias em relação à influência do espaçamento sobre o crescimento em altura da árvores.

SOUZA (1995), sugere para plantios comerciais de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* o maior espaçamento estudado em seu trabalho, visto que a produção total praticamente não diferiu dos menores

espaçamentos. Além disto, um desbaste realizado aos 14 anos mostrou que as árvores pertencentes aos espaçamentos mais amplos responderam mais ao desbaste, quando comparadas com aquelas pertencentes aos espaçamentos menores, o que pode ser devido a menor competição entre árvores.

Da mesma forma, MELLO et al. (1971), estudando quatro espécies de eucalipto e dois espaçamentos (4,5 e 6 m²/planta), não encontraram diferenças significativas de produção de madeira, tanto aos sete como ao nove anos de idade. O mesmo resultado foi encontrado por KLEIN & FREITAS (1988), para a produção volumétrica, a altura e a sobrevivência de *Eucalyptus saligna*, conduzidos sob espaçamentos variando em 2 m entre plantas e 2 m, 2,2 m, 2,4 m, 2,6 m, 2,8 m e 3 m entre linhas, aos sete anos de idade.

MORA (1986), observou baixa porcentagem de falhas em seu estudo com clones de *Eucalyptus* spp. em diferentes locais e espaçamentos. A altura média, o diâmetro a altura do peito (DAP) e o volume por árvore de uma das localidades foram maiores no maior espaçamento devido provavelmente a menor competição entre árvores. O volume por área foi similar entre os dois espaçamentos, o que o autor considerou economicamente relevante, pois pode-se ganhar no custo de implantação de mudas, no corte e no transporte da madeira nos espaçamentos maiores. Foi encontrada uma diminuição de 4,4% na produção obtida em cada espaçamento estudado (6 e 9 m²/planta). O mesmo resultado foi constatado por SILVEIRA et al.(1997), que encontraram uma diminuição dos valores de volume por hectare e um aumento dos valores de DAP com o aumento do espaçamento, para praticamente todos os clones estudados em diferentes espaçamentos, em duas localidades do Estado de Minas Gerais.

COUTO et al. (1977), observaram que o volume médio produzido por hectare para *Eucalyptus urophylla* foi influenciado pelo espaçamento, em todas as idades estudadas, sendo que as menores produções foram encontradas nos povoamentos com menor densidade de plantio. Isto também foi observado por GARCIA et al. (1991), para *E. grandis* e *E. saligna*. Da mesma forma, VITAL & DELLA LUCIA (1987), estudando o

efeito do espaçamento na produção de biomassa em *E. grandis* e *E. urophylla*, concluíram que até os 57 meses de idade, o principal fator que influenciou a produção por hectare foi a densidade de plantio.

SCHÖNAU (1974), concluiu que a altura média não foi afetada pelo espaçamento e como esperado, os diâmetros médios foram maiores nos maiores espaçamentos. O autor afirma que um incremento na densidade de plantio resultou em um aumento significativo na produção de madeira, mas este incremento foi produzido na sua totalidade nas menores classes diamétricas (5 – 12,5 cm na ponta fina).

Estudando o *Eucalyptus dunnii*, MONTEIRO et al. (1984), testaram seis tratamentos, com quatro repetições, que consistiam de diferentes espaçamentos (2 x 2 m; 2 x 2,5 m; 2,5 x 2,5 m; 3 x 2,5 m; 3 x 3 m; 2,5 x 1,7 m). Constataram, ao final de seus estudos, que o maior espaçamento foi o que apresentou maior desenvolvimento em DAP e o menor espaçamento (2 x 2 m) foi o que apresentou menor desenvolvimento diamétrico. A altura foi pouco influenciada pelo espaçamento. A área basal por hectare foi maior no espaçamento 2,5 x 1,7 m, apresentando 25,55 m²/ha, sendo este valor muito próximo ao obtido no espaçamento 3 x 3 m, com 23,55 m²/ha, apesar deste último apresentar cerca de 2,11 árvores por hectare a menos que o espaçamento anterior. Os autores ainda citam que o espaçamento 2,5 x 2,5 m apresentou os melhores resultados em relação ao volume cúbico com casca por unidade de área, sendo que a diferença para o espaçamento 3 x 3 m não foi significativa pelo teste F. O espaçamento 2 x 2 m apresentou os piores resultados em dados de volume cúbico com casca por unidade de área, sendo cerca de 16% menor do que no espaçamento 2,5 x 2,5 m. Este fato, contrário ao consagrado conceito de que menores espaçamentos produzem maior volume por unidade de área, pode ser devido à maior mortalidade em espaçamentos reduzidos. Tendências de aumento da produção com a utilização de espaçamentos mais amplos também foram encontradas por RENSI COELHO et al. (1970) para *E. propinqua* e *E. grandis*.

Estudando a influência do espaçamento na produção de madeira industrial de *Eucalyptus grandis* em ciclos curtos, MELLO et al. (1972),

concluíram ser o maior espaço entre plantas (3 x 2 m) mais aconselhável para esta espécie. Uma das razões foi o maior rendimento de massa seca (t/ha) neste espaçamento, comparado ao 3 x 1,5 m.

Em relação ao desenvolvimento diamétrico, LOPEZ & APARICIO, (1995), estudando o crescimento de *Eucalyptus grandis* até os doze anos de idade, encontraram pouca diferença entre os diâmetros das árvores em espaçamentos distintos, nos primeiros anos de plantio. Com o passar dos anos, estabelecendo-se a maior competição entre indivíduos nos espaçamentos mais reduzidos, a diferença diamétrica tornou-se visivelmente distinta. Da mesma forma, RENSI COELHO et al. (1970), constataram que o espaçamento teve ação positiva sobre o crescimento em diâmetro, não influenciando o crescimento em altura.

BLANCO et al. (1988), em estudos realizados em um plantio experimental de 14 anos sobre o comportamento de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, em cinco espaçamentos diferentes (3 x 1 m até 3 x 3 m), concluíram que o espaçamento 3 x 2,5 m forneceu os melhores resultados, tanto em altura como em diâmetro; além disso, também permite a utilização de equipamentos mecanizados, estender as intervenções silviculturais até depois dos 14 anos e obter um plantio de maior qualidade. Indicam os espaçamentos 3 x 1,5 m e 3 x 1 m para locais com perigo de erosão e onde se queira madeira para uso imediato.

Já ASSIS et al. (1999), observaram um comportamento interessante nos valores médios de circunferência à altura do peito (CAP), encontrando os menores valores nos espaçamentos 3 x 5 m, 3 x 2 m e 9 x 1 m. O espaçamento que apresentou melhor desempenho em CAP foi o 6 x 1,5 m. Os autores alertam que não se deve considerar somente a densidade populacional e sim o arranjo espacial das plantas, destacando que a produção, para uma mesma densidade populacional, tende a diminuir quando se combinam maiores espaçamentos na entrelinha com menores espaçamentos na linha de plantio, devido à concorrência.

Em seu estudo com diferentes espaçamentos de plantio para *Eucalyptus urophylla*, COUTO (1977), concluiu que o 3 x 2 m combinou todos os aspectos positivos necessários ao melhor aproveitamento da área,

considerando o sistema de manejo em uso. Neste estudo, a altura média e o diâmetro médio aumentaram em espaçamentos mais amplos.

GORGULHO (1990), concluiu em seu trabalho que o desempenho médio das progênies estudadas correlacionou-se positivamente com o aumento do espaçamento, quanto às características de crescimento e sobrevivência, ressaltando que o maior espaçamento estudado (3 x 2 m) é o mais adequado não somente pelo desempenho que proporciona, mas também pela facilidade de manejo, exploração e menor custo de implantação.

CAMPOS et al. (1990), indicam o maior espaçamento estudado (3 x 2 m) quando a utilização da madeira for para celulose ou energia, compatibilizando a produção de árvores de dimensões mais adequadas a uma maior produção por unidade de área na idade de corte.

2.4.2 Qualidade da madeira

A prática de atividades silviculturais intensas, como o controle do espaçamento, entre outras, afetam a qualidade da madeira em decorrência do seu efeito nos padrões de crescimento das árvores. Estes padrões são afetados em maior grau pelas práticas silviculturais, quando comparados aos efeitos destas práticas sobre a qualidade da madeira (KELLISON et al., 1983).

ZOBEL (1992), destaca que qualquer alteração do padrão de crescimento de uma árvore, resultante ou não de intervenções silviculturais, pode causar variações na qualidade da madeira, sendo que não é possível prever em que sentido estas variações ocorrerão. O autor sustenta que a adoção de um espaçamento maior no plantio evita mudanças abruptas nas condições de luminosidade, umidade e competição entre árvores, evitando alterações súbitas na qualidade da madeira. Isto foi observado por Wilkins & Kitahara, que verificaram a existência de uma forte correlação entre as deformações de crescimento com o aumento do grau de competição entre árvores (SCHACHT, 1998).

Segundo DANIEL et al. (1979), a taxa de crescimento pode ser alterada pela seleção de espécies, seleção genética, espaçamento, fertilização e irrigação, etc. Esta tem sido uma característica amplamente estudada como uma medida de qualidade da madeira, pois na maioria das espécies existe a tendência de diminuição da densidade com o aumento da taxa de crescimento (US DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1987).

Conforme BAMPI (1991), a qualidade da madeira para produção de pastas está associada diretamente com a densidade básica, sendo admissível o emprego de madeiras com nós, diâmetros reduzidos, resíduos de reflorestamento e do processamento mecânico. Para a indústria de papel, segundo SCHNEIDER (1993), caso seja elevada em 10% a densidade da madeira, o peso da polpa produzida aumentará também 10%. Isto equivale a um aumento de 10% a mais em massa, ou a incorporar 10% a mais no tamanho da capacidade instalada nesta indústria.

Segundo o mesmo autor, no manejo florestal interessa saber até que ponto pode-se controlar a qualidade da madeira. Para isso, é necessário um certo conhecimento das propriedades que determinam a qualidade da madeira e até que ponto estas são influenciadas pelas características genéticas e pelas modificações do ambiente (espaçamento, proporção de copa viva e a taxa de crescimento).

Diversos autores, como BUSNARDO et al. (1983a), TEIXEIRA et al. (1993) e GARCIA (1998), afirmam que a densidade da madeira é uma importante propriedade na definição da qualidade da madeira, em decorrência da mesma estar relacionada às características químicas, físicas e anatômicas da madeira. MITCHELL (s.d.) também afirma ser a densidade básica da madeira um dos principais fatores utilizados na classificação de madeiras estruturais e na seleção de material de alta qualidade a ser usado para diversos fins em que a resistência seja imprescindível. Isto é devido ao alto grau de correlação existente entre a densidade e a resistência mecânica em todas as espécies produtoras de madeira.

A densidade da madeira é uma expressão relativa dos distintos elementos celulares que a compõe (vasos, fibras, traqueídes, células de parênquima) e da variação de sua parede celular, lume e espaços

intercelulares e, em menor grau, à presença de constituintes estranhos. Fundamentalmente, depende de 3 fatores: da porcentagem de lenho tardio, do tamanho das células e da espessura da parede celular (SCHNEIDER, 1993).

No Brasil, os primeiros trabalhos sobre variabilidade da densidade básica foram desenvolvidos por FERREIRA (1968). O autor observou que existia alta variação na densidade da madeira entre as diferentes espécies e árvores da mesma espécie.

As variações na densidade estão relacionadas primeiramente às diferenças na estrutura da madeira e em segundo plano, à presença de constituintes estranhos. Tendências hereditárias, influências fisiológicas e mecânicas, assim como fatores ambientais (solo, calor, precipitação, ventos, etc.) afetam a estrutura da madeira. Além disso, em madeiras de maior densidade ocorre, com freqüência, a impregnação de substâncias como alcalóides e taninos, aumentando a durabilidade natural da madeira (KOLLMANN & CÔTÉ, 1968).

De acordo com SOUZA et al. (1979), no gênero *Eucalyptus*, a densidade varia com o local de plantio, com a idade da árvore e com a taxa de crescimento. Para BRASIL & FERREIRA (1971), também o local e a idade podem influenciar a densidade básica da madeira, à medida que a espessura da parede e o comprimento das fibras aumentarem.

Segundo BARRICHELO et al. (1983) e SOUZA et al. (1979), entre outros, a densidade da madeira é afetada consideravelmente pela posição no tronco e no sentido medula-casca. FOELKEL et al. (1992), em seus estudos com *Eucalyptus*, afirmam que as densidades mais elevadas estavam localizadas próximo à casca, atribuindo este resultado ao fato do câmbio se especializar com a idade na formação de madeiras mais densas. Volkert apud KOLLMANN & CÔTÉ (1968) observou que a densidade na base de árvores com tronco mais cilíndrico é maior do que nas que apresentam tronco fortemente afilado. Isto sugere que árvores pertencentes a plantios com amplo espaçamento apresentam densidade menor na base. Além disso, FERREIRA & KAGEYAMA (1978) afirmam que a densidade da madeira também varia significativamente entre árvores de uma mesma

população, sendo esta variação mais importante do que as variações entre populações de uma mesma localidade ou de localidades diferentes.

Os mesmos autores observaram ainda, que a diferença de densidade entre o lenho inicial e tardio é mais pronunciada em coníferas e folhosas com porosidade em anel do que em folhosas de porosidade difusa, como é o caso dos eucaliptos. As folhosas com poros em anel produzem maior percentagem de lenho tardio quando crescem mais rápido. O lenho tardio é mais pesado e, por isso, a madeira de crescimento rápido torna-se mais pesada do que uma em crescimento lento (SCHNEIDER, 1993). Pela teoria tradicional, nas espécies com poros difusos não existe correlação entre largura do anel e peso específico. Porém, esta teoria é posta em dúvida por Gomes & Alves apud BRASIL (1972), os quais constataram que nas angiospermas com poros difusos, como os *Eucalyptus*, a densidade pode ser função inversa da taxa de crescimento.

Benson apud BRASIL (1972), concluiu que o crescimento rápido em angiospermas está associado com a alta densidade. Também KELLISON et al. (1983), citam que para algumas espécies de folhosas a aceleração do crescimento pode resultar em peso específico maior.

Segundo SCHNEIDER (1993), foi constatado em vários estudos, que a densidade básica não é correlacionada com a largura dos anéis, mas sim com a idade em que o anel é formado. Nas pesquisas anteriores, a idade não foi levada em consideração, e os pesquisadores tomaram por acaso anéis largos formados na juventude da árvore e anéis finos formados na idade adulta, confundindo a correlação peso-idade com a correlação peso-largura do anel. A nova teoria afirma a existência da correlação entre peso-idade e nega a correlação entre peso-largura do anel, podendo ser explicada fisiologicamente, isto é, o peso específico da madeira depende da percentagem de lenho inicial e de lenho tardio, pois quanto maior a percentagem de lenho tardio, maior o peso. É provável que as árvores jovens iniciam o crescimento cedo na primavera e terminam, também, relativamente cedo, enquanto árvores velhas iniciam e terminam o crescimento mais tarde, assim formando maior percentagem de lenho tardio, o que significa um maior peso específico.

GARCIA & LIMA (1990) não encontraram diferenças significativas entre a densidade básica das 3 classes de DAP estudadas, porém encontraram uma alta variabilidade dentro da maior classe, havendo diferenças altamente significativas de densidade entre as árvores amostradas nesta classe. Os autores ressaltam que esta variabilidade, associada com a alta herdabilidade, fizeram desta característica um importante indicador de seleção.

Estudando a variação das propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* em função da taxa de crescimento, MALAN (s.d.), concluiu que o aumento da produção através de medidas silviculturais não ocasionou nenhuma influência sobre as propriedades da madeira. Da mesma forma, ZOBEL & JETT (1995), citando vários trabalhos, comentam que a taxa de crescimento não apresenta correlação com a densidade da madeira de eucalipto.

Em seus estudos com eucaliptos, SCHÖNAU (1974), concluiu que a densidade básica diminuiu com o aumento do DAP. No entanto, diz que a alta variabilidade das amostras pode ter ocasionado uma baixa determinação do modelo de regressão ($r^2 = 0,29$).

Para a madeira de *Eucalyptus grandis* foram encontradas diferenças significativas entre a massa específica de três diferentes níveis de produtividade selecionados no povoamento. Esses resultados mostraram que a densidade básica diminuiu com o potencial de crescimento da floresta. Dentro de um mesmo sítio, para um mesmo nível de produtividade, não houve correlação significativa entre a densidade básica e as características dendrométricas da árvore (MIGLIORINI, 1986). Também REZENDE et al. (1998), estudando a variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* em função de diferentes níveis de produtividade da floresta ($m^3/ha/ano$) aos 8 anos, constataram uma diminuição significativa da densidade com o aumento dos níveis de produtividade ($r^2 = 0,77$).

LAND et al. (1983) afirmam que em sítios onde se tem rápido crescimento há uma redução na densidade básica em relação a taxas de crescimento menores. Porém, o aumento do volume por unidade de área

nos sítios mais produtivos compensaria a perda em densidade, havendo maior colheita de matéria seca por hectare.

Conforme PANSWIN & ZEEW (1964), a maioria dos estudos indicam que a densidade básica é menor em árvores pertencentes aos estratos superiores, o que não pode ser generalizado, pois outros estudos mostram não haver diferença alguma ou mesmo revelam uma tendência inversa.

Para o *Eucalyptus saligna*, as árvores mais vigorosas apresentaram valores de densidade básica maiores quando comparadas com árvores menos vigorosas. Porém, apesar de ter ocorrido uma elevação na densidade básica média com o aumento da classe diamétrica, houve variações individuais, com árvores menos vigorosas apresentando maior densidade básica e vice-versa, provavelmente devido a fatores genéticos (FERREIRA, 1968). O mesmo fato foi observado por FERREIRA & KAGEYAMA (1978), que concluíram que as árvores mais vigorosas de populações híbridas de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna* apresentavam maior densidade, sendo que para *E. grandis* não encontraram efeito da taxa de crescimento sobre a densidade.

Do mesmo modo, SOUZA et al. (1979) afirmam que as árvores menos vigorosas, com DAP inferior a 10 cm, apresentam densidade básica média significativamente inferior à das árvores com diâmetro superior a 15 cm, para *Eucalyptus microcorys*. Os autores encontraram que, apesar de não haver diferenças significativas entre as classes, a densidade básica mostrou uma forte tendência de aumentar com o acréscimo do diâmetro. A produção de celulose (t/ha/ano) tendeu a decrescer com o aumento dos espaçamentos (FONSECA et al., 1997).

BRASIL & FERREIRA (1971), afirmam que a densidade básica da madeira de *Eucalyptus* não é afetada pelo espaçamento, o que é confirmado por BRASIL (1972), VITAL et al. (1981), VITAL & DELLA LUCIA (1987) e GARLET (1994), entre outros. Por outro lado, GARCIA et al. (1991), concluíram que a densidade básica mostra tendências de diminuir com o aumento do espaçamento.

Para KELLISON et al. (1983), o espaçamento inicial afeta drasticamente o crescimento, a forma, a qualidade e a produção final.

Delwaulle apud ZOBEL (1992), encontrou para eucaliptos um aumento do peso específico de 0,52 em espaçamentos menores para 0,60 em espaçamentos amplos.

De acordo com Florsheim apud SOUZA (1995), em seu estudo ocorreu uma relação positiva entre o espaçamento e a densidade básica das árvores de aroeira desenvolvidas em espaçamentos mais amplos.

ODA et al. (1990) encontraram uma alta correlação linear entre volume cilíndrico e densidade básica de um clone de *Eucalyptus saligna*. Para o clone de *E. grandis*, a 50% da altura comercial, os espaçamentos afetaram a densidade, sendo esta maior nos espaços mais amplos.

As árvores são formadas por camadas sobrepostas de madeira, ou anéis de crescimento, cujas espessuras podem ser controladas através do espaçamento. O estreitamento precoce dessas camadas que geralmente ocorre em espaçamentos mais fechados pode caracterizar uma maior ou menor densidade básica (ODA et al., 1990). Os autores sugerem que as camadas de madeira que mais influenciam a densidade básica são as formadas mais recentemente. Quando a competição intensificar-se, a densidade da madeira das árvores pertencentes ao maior espaçamento pode superar as demais devido a um maior crescimento e conseqüente maior concentração de madeira adulta.

MALAN & HOON (1992), observaram que padrões de variação na densidade básica em árvores de *Eucalyptus grandis* são significativamente afetados pelo grau de supressão (maior competição), havendo um pronunciado efeito inverso na uniformidade da madeira, ou seja, em espaçamentos menores existe maior variação da densidade da madeira quando comparada com árvores pertencentes a espaçamentos maiores. Concluem ainda que este é o resultado mais importante neste estudo, visto que as práticas silviculturais aceleradoras do crescimento em *Eucalyptus grandis* não têm um efeito pronunciado nas propriedades básicas da madeira, e a falta de uniformidade das madeiras é um dos problemas mais sérios para a qualidade da madeira de espécies comerciais.

Os mesmos autores constataram, ainda, que as madeiras de árvores que cresceram mais livremente começam a produzir madeira adulta

precocemente, alcançando níveis máximos de densidade mais cedo, resultando em um tronco com grande proporção de madeira adulta, de densidade relativamente uniforme. Além disso, a densidade média ponderada aumentou com o aumento da intensidade de desbaste.

Em seu estudo sobre a importância de algumas características sobre a diversidade genética de clones de eucalipto em duas classes de produtividade, GARCIA (1998) encontrou maiores valores de densidade básica, espessura da parede celular e diâmetro das fibras e vasos na classe de maior produtividade. Na classe de menor produtividade, os maiores valores foram de teor de lignina, pentosanas e extrativos. A densidade básica foi a característica de maior importância na diversidade, destacando-se porém, que este estudo deve considerar tanto as características de qualidade como de crescimento, com o objetivo de obter melhor qualidade da matéria-prima associada à maior produtividade.

Para ELLIOTT (1970), as divergências sobre a influência do ritmo de crescimento sobre a densidade da madeira têm sido atribuídas às seguintes razões: padrões de amostragem; idade das árvores amostradas em associação com o grau de competição entre árvores; disponibilidade de água, também associada com o grau de competição; influência das características da copa na época da colheita.

O autor ressalta ainda que as correlações negativas entre o ritmo de crescimento e a densidade básica, embora significativas estatisticamente, raramente mostram um coeficiente de determinação superior a 20%.

SHIMOYAMA (1990), comenta a importância da densidade básica no rendimento e no custo dos processos de produção de polpa, havendo menor dificuldade de manuseio por haver menor volume de toras e cavacos para uma mesma quantidade de massa. Assim, a capacidade do digestor é aumentada em massa com o aumento da densidade básica, levando a um aumento do potencial de produção da indústria. Porém, o aumento do valor de densidade básica é acompanhado por uma maior dificuldade de picagem das toras, ocasionando maior proporção de cavacos maiores, consumindo mais reagentes, dificultando a impregnação, levando a uma maior quantidade de rejeitos na polpação.

Para a indústria de celulose e papel, a avaliação adequada da densidade básica proporciona uma indicação do rendimento do processo de obtenção de polpa, além do comportamento de algumas propriedades físico-mecânicas da polpa resultante (BUSNARDO et al., 1983a). Também para LAND et al. (1983), as mudanças na densidade básica afetam as propriedades da polpa e do papel, e conseqüentemente a qualidade do produto final.

GARCIA (1998), ressalta que a densidade básica não deve ser utilizada como único critério na avaliação da qualidade da madeira, pois outros constituintes, como os teores de lignina e extrativos, são considerados importantes no estudo da influência da qualidade da madeira sobre a qualidade da polpa e do papel. Segundo FOELKEL (1978), existe uma correlação positiva entre o teor de lignina e a densidade básica da madeira.

FOELKEL et al. (1992), também alertam sobre a utilização isolada da densidade básica para definir a qualidade da madeira. Os autores afirmam que a densidade é um fator resultante, ou seja, é a conseqüência e não a causa da distribuição, tipos e composição dos elementos anatômicos que compõem a madeira. Isto significa também dizer que para um mesmo valor de densidade tem-se diversas combinações de elementos anatômicos e conseqüentemente diferentes qualidades.

Em razão das variações da densidade básica da madeira nos sentido medula-casca e base-topo, é prática rotineira retirar discos de 2,5 a 3,0 cm de espessura para amostrar a árvore nas posições de 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial (SHIMOYAMA, 1990).

REZENDE et al. (1998) ressalta a importância de tomar as médias ponderadas de valores obtidos entre as fatias de cada árvore, a fim de se determinar corretamente a densidade básica média da árvore, visto que médias aritméticas podem proporcionar erros consideráveis nessas determinações.

Quanto ao número de árvores a serem amostradas, FONSECA et al. (1996), acreditam ser a estabilização do desvio-padrão o melhor método de determinação de número de amostras. Recomendaram para uma população

híbrida de *Eucalyptus grandis* em Rio Claro-SP, 10 árvores para representar a característica de densidade básica. Já para a população clonal os autores utilizaram apenas uma árvore por parcela, justificando que a variação entre árvores do mesmo clone só poderia ser devida à fatores ambientais.

No entanto, FLORES (1999), estudando o número ótimo de amostras para um clone de *Eucalyptus saligna* concluiu que 7 árvores seriam o número ideal de amostras para determinação da densidade básica da população.

2.4.3 Produção de massa

O peso seco de uma árvore, resultante da multiplicação do volume sólido de madeira pela densidade básica, é um parâmetro de elevada importância na classificação de árvores e quantificação da produção de matéria seca de um povoamento destinado para fins de produção de celulose. Ao final da rotação, é desejável que se tenha árvores com maior produção de matéria seca, a fim de se melhorar os rendimentos de celulose (BUSNARDO et al., 1983a). Sendo assim, os autores sugerem que esta variável seja mais considerada para os programas de melhoramento florestal, visando a indústria de celulose.

JOHNSTON et al. (1967) já preconizavam que o peso (t/ha) de material lenhoso (peso de matéria seca) é mais importante para a produção de pasta de celulose do que apenas o volume (m^3/ha). Os autores alertam ainda, que se a madeira destinada a produção de pasta fosse vendida conforme o peso seco, as diferenças de densidade básica da madeira teriam uma influência considerável nas rentabilidades relativas do empreendimento.

Considerando a alta variabilidade da madeira associada às diferentes espécies, procedência das sementes e idade de colheita, BRASIL (1972) e FERREIRA & KAGEYAMA (1978), também sugeriram o peso seco por unidade de área como um índice mais representativo da produtividade.

Por exemplo, SOUZA (1989), trabalhando com 2 espaçamentos distintos (3 x 1,5 m e 3 x 2 m), encontrou que o máximo incremento médio anual (IMA) em peso ocorreu, aproximadamente, 4% mais tarde que o

máximo IMA em volume, devido aos aumentos ocorridos na densidade básica. A idade de máximo incremento em volume e peso, é, respectivamente 12,8 e 13,8% menor no espaçamento mais denso. Isto evidencia a necessidade de se considerar o peso como variável de estudo.

BUSNARDO et al. (1983b), encontraram em seu trabalho uma alta correlação entre o peso seco e o volume, DAP, peso estimado de casca e altura comercial das árvores estudadas, destacando a grande aplicabilidade da estimativa do peso seco da árvore através da medição do DAP, traduzida pela rapidez de coleta e sem a necessidade de ensaios destrutivos.

RENSI COELHO et al. (1970) concluíram que a produção, expressa pelo peso de madeira seca, não foi afetada pelo espaçamento. Já SOUZA (1989) encontrou que a produção em peso e volume é maior no menor espaçamento estudado, porém tende a se igualar a partir de 114 meses.

Para VALERI et al. (1997) houve efeito significativo da densidade de plantio na produção de madeira para celulose. A produção máxima foi encontrada para uma densidade de 1342 plantas/ha, obtida pelo ajuste de uma regressão polinomial de terceiro grau ($r^2 = 0,82$). As densidades estudadas foram: 500, 625, 833, 1.250, 1.666, 2.500 e 5.000 plantas por hectare. Os tratamentos referentes às maiores densidades de plantio foram os que produziram maior quantidade de madeira para energia, entretanto as quantidades de madeira para celulose foram muito baixas nestes tratamentos.

2.5 O efeito da fertilização

Segundo Larson apud VITAL (1990), a fertilização é a ferramenta mais comum e talvez de ação mais efetiva que se dispõe para melhorar a qualidade do sítio e, com isto, aumentar a taxa de crescimento, o que também é destacado por MELLO et al. (1970). A quantidade, tipo e a época de aplicação dos fertilizantes pode vir a ocasionar alterações na qualidade da madeira, sendo que estas mudanças dependem da espécie e da fertilidade do solo.

Posey & Nicholls apud ZOBEL (1992), afirmam que a aplicação de fertilizantes em pequenas e contínuas doses em geral não afeta as características da madeira, sendo que grandes e poucas doses surtem maior efeito na qualidade da madeira.

Quanto à época de aplicação de fertilizantes, normalmente a adubação feita durante o plantio das mudas não interfere na qualidade da madeira das árvores adultas. Porém, estas árvores tendem a produzir maior proporção de lenho juvenil, caracterizado pela baixa resistência e densidade, paredes celulares mais finas, menos celulose e mais lignina. Além disso, a adubação de plantio proporcionou um aumento significativo na produção volumétrica de *E. grandis* e *E. saligna*, com resultados superiores àqueles encontrados para adubação parcelada. A primeira apresentou melhores respostas à adubação enquanto que a segunda respondeu melhor aos diferentes espaçamentos (IPEF, 1976).

Já em idades mais avançadas, Posey segundo VITAL (1990) observou uma redução de até 20% na densidade da madeira de *Pinus taeda* com idades entre 12 e 16 anos. Após o sexto ano as densidades das árvores fertilizadas voltaram ao normal.

ZOBEL (1992) afirma que, em coníferas, a fertilização freqüentemente aumenta a porcentagem de lenho juvenil e não afeta o lenho tardio. Em alguns casos a fertilização ocasiona o aumento da espessura da parede celular do lenho juvenil e a redução da espessura da parede do lenho tardio.

O autor afirma ainda que a fertilização de folhosas é mais comum, porém a literatura é bastante contraditória a respeito dos efeitos dessa sobre a qualidade da madeira. O nitrogênio diminuiria o tamanho das células, espessura da parede e peso específico, assim como para as coníferas, mas há muitas exceções, especialmente em espécies com poros difusos como os eucaliptos.

VITAL (1990) também destaca, citando vários autores, a existência de resultados conflitantes sobre o efeito da fertilização sobre a densidade da madeira, havendo desde a redução, aumento e a não alteração da característica com a adubação. Mas enfatiza que, se houver diminuição, o

peso de madeira produzido por hectare será maior devido ao grande crescimento volumétrico.

JACOB & BALLONI (1978), e BALLONI (1978) atribuem estas contradições a alta variabilidade genética dentro de uma mesma espécie estudada, além das diferentes metodologias utilizadas na determinação dos parâmetros em estudo. Nos trabalhos onde a densidade diminuiu com a utilização de fertilizantes, esta redução foi da ordem de 2 a 10% em relação a árvores não adubadas.

Segundo os mesmos autores, para folhosas existe um efeito não significativo da fertilização sobre a qualidade da madeira, sendo o contrário encontrado para coníferas.

BRITO et al. (1986) relataram que a adubação mineral proporcionou reduções significativas na massa específica da madeira. Também concluíram que apenas nos três primeiros anos as produções de massa dos tratamentos adubados foram superiores aos dos não adubados.

Em um estudo de fertilização em *Norway spruce*, houve uma redução de 5% na densidade da madeira, mas um aumento de 35% na produtividade. Isto torna-se muito atrativo do ponto de vista da indústria de papel, mas deve-se ter em conta que uma diminuição de 5% da densidade da madeira produziria uma redução de 10 a 20% da resistência da madeira à flexão e dureza (DANIEL et al., 1979).

A maioria dos trabalhos sobre a influência da fertilização na qualidade da madeira indicam a existência de correlações entre a adubação e a densidade, além da correlação positiva entre adubação e taxa de crescimento (BRITO et al., 1986). Além disso, em seu estudo com fertilização mineral, estes autores encontraram um acréscimo de cerca de 25% na produção volumétrica total aos nove anos, apesar da influência ter sido verificada somente até os 5 anos de idade. A densidade foi reduzida em cerca de 27% e a produção de massa de madeira total foi reduzida em cerca de 5%. Os autores destacam porém, que a adubação proporcionou uma diminuição do grau de variação dessa mesma produção entre árvores.

VALERI et al. (1990), estudando a variação da densidade básica com a aplicação de calcário e fósforo, encontraram que esta não foi afetada pela

aplicação do calcário, mas diminuiu com a aplicação de 200 Kg/ha de fósforo.

Estudando o efeito da fertilização na qualidade da madeira de *E. grandis*, ANDRADE et al. (1994), encontraram ainda, aos seis anos de idade, diferenças significativas entre as principais características dendrométricas das árvores. Para a densidade não houve diferenças significativas, porém ocorreu uma ligeira diminuição em relação às árvores não adubadas. A produção de massa foi afetada pela fertilização, havendo um acréscimo significativo. Isto foi decorrente do aumento da produção volumétrica, visto que a densidade não foi afetada significativamente.

KIKUTI & NAMIKAWA (1990) em seu estudo da interação de clones com a fertilização em *E. saligna*, encontraram que os efeitos da adubação somente foram significativos até os dois anos de idade para as características de DAP e altura. Para densidade básica, não houve efeito da fertilização.

Em árvores de crescimento lento, devido a alguma deficiência do solo, a aplicação de fertilizantes pode ocasionar aumento na densidade da madeira. Em árvores de crescimento médio pode haver redução de até 5% e em árvores de crescimento rápido não há efeito da adubação na densidade da madeira (Klem apud VITAL, 1990).

KELLISON et al. (1983) e Larson apud VITAL (1990), destacam que o efeito de intervenções silviculturais, tais como a adubação mineral, é secundário, sendo decorrente de um maior crescimento da copa, de uma maior eficiência para realização da fotossíntese e conseqüente alteração no padrão de crescimento. Neste sentido, VITAL (1990), destaca que as diversas propriedades da madeira não respondem de forma homogênea à adubação mineral. Isto é devido às variações naturais das características genéticas e das diferentes condições ambientais a que estão sujeitas as espécies produtoras de madeira (PANSHIN & ZÉEuw, 1964).

MELLO et al. (1970) afirmam que o aumento da produção de madeira alcançado em seus estudos é decorrente da ação dos fertilizantes minerais no desenvolvimento das árvores em altura e diâmetro. Os autores sugerem que do ponto de vista econômico seria interessante que esse aumento de

volume fosse obtido para um menor número de árvore por hectare, resultando em árvores de maior diâmetro e de maior altura pela aplicação de fertilizantes. Foi encontrado um aumento de 44% na produção de madeira em áreas adubadas, sugerindo que poderia haver uma redução de mesma grandeza no capital investido em terras e despesas de florestamento (preparo de solos, plantio, produção de mudas, tratos culturais, etc.). Além disso, não houve efeito negativo da adubação na qualidade da madeira, sendo o rendimento e a qualidade da celulose consideradas normais.

JACOB & BALLONI (1978), comentam que a utilização de fertilizantes pode incrementar a produtividade das florestas de 25 a 80%, dependendo da qualidade do sítio.

Segundo VITAL (1990), Gray & Kyanka em seu trabalho com madeira de árvores de *Pinus resinosa*, adubadas com potássio, observaram para testes de flexão estática, um acréscimo no módulo de elasticidade (MOE) e um decréscimo no trabalho até o limite de proporcionalidade e até a carga máxima, enquanto que a tensão de ruptura não foi afetada. Já Hsu & Walters, citados pelo mesmo autor, verificaram que a adubação mineral implicou em uma redução significativa no MOE, tensão de ruptura e tensão no limite de proporcionalidade, em *Pinus taeda*.

Para alguns autores (Brendmuehl, Fricker e Beaton), o efeito dos fertilizantes pode durar por vários anos (mais de 20 anos), ao passo que outros autores afirmam ser este tempo muito menor, chegando mesmo a haver uma igualdade entre plantas adubadas e não adubadas (BALLONI, 1978).

2.6 Propriedades mecânicas

Quando se aplica uma tensão sobre uma peça de madeira é produzida uma deformação, medida pela variação dimensional sofrida por esta peça. Esta deformação é proporcional à tensão (até o limite de elasticidade), e a razão entre tensão e deformação é denominada módulo de elasticidade (MOE), que varia de acordo com a espécie estudada. A tensão, que pode

ser de tração e/ou compressão, é medida como pressão, ou seja, uma força aplicada sobre uma área (SCHACHT, 1998).

ROCHA et al. (1988) ressaltam que o termo resistência, aplicado nos materiais como a madeira, significa a habilidade que tem o material de resistir a forças externas ou cargas, tendendo a alterar seu tamanho e sua forma. A carga aplicada a um corpo sólido induz uma força interna que tende a resistir as alterações no tamanho e forma. Esta força é conhecida como tensão e é expressa em Kgf/cm^2 . As alterações de tamanho e forma são conhecidas como deformações. A deformação é proporcional ao carregamento aplicado até chegar a um ponto em que esta proporcionalidade deixa de existir. Este ponto é conhecido como limite de proporcionalidade. Além deste, é suficiente um pequeno incremento de carga para provocar a deformação irreversível (deformação plástica), chegando até a ruptura. O limite de resistência e o comportamento elástico são características próprias de cada material e, na madeira, de cada espécie. O ângulo formado pela linha reta entre dois pontos arbitrários e a abscissa no diagrama carga x deformação, dentro do limite de proporcionalidade, é conhecido como módulo de elasticidade.

Segundo US DEPARTMENT OF AGRICULTURE (1987), a avaliação mecânica da resistência da madeira é baseada na relação observada entre o módulo de elasticidade e a resistência ao arqueamento. O critério utilizado para a classificação mecânica da madeira é o MOE, e pode ser medido de diversas formas. Normalmente mede-se o MOE aparente. Como a madeira é um material heterogêneo, o MOE aparente depende do comprimento do vão, da orientação da peça (prancha ou cutelo), do modo do teste (estático ou dinâmico) e do modo como será aplicada a carga (tensão, flexão, concentrada, uniforme, etc.).

O MOE, então, é uma medição da capacidade de uma viga resistir à deflexão. A determinação do MOE é uma estimativa do módulo médio da classe de resistência, usando-se o módulo de elasticidade para madeira limpa como base. A utilização de corpos de prova com dimensões apropriadas para estabelecer as propriedades mecânicas da madeira exige uma amostragem representativa da população em estudo. Além disso, estas

propriedades podem ser modificadas conforme as condições de uso, considerando o teor de umidade, a duração da carga e a segurança exigida (ASTM, 1995b).

A resistência à flexão estática é a propriedade que melhor se relaciona com as outras propriedades, além de ser a situação em que se encontram submetidas a maioria das peças de madeira destinadas a algum fim estrutural. Na flexão, a peça submetida a este teste sofre simultaneamente tração e compressão (ROCHA et al., 1988).

Dentre os fatores que influem na resistência à flexão das madeiras, ROCHA et al. (1988) ressaltam a densidade, mas destacam que, por ser uma característica que reflete a composição química e quantidade de matéria lenhosa por peso, não se pode afirmar que quanto mais densa for a madeira, mais forte será a mesma. Já o teor de umidade exerce grande influência nas características físicas e mecânicas da madeira. Quando se deseja aumentar a resistência mecânica de uma madeira verde, é necessário submetê-la a secagem, porque a medida que a água é removida das paredes celulares, a madeira vai se contraindo e, com isso, as microfibrilas vão se aproximando, no que resulta num considerável aumento das propriedades de resistência.

Este comportamento foi encontrado por LIMA et al. (1986), estudando a variação do MOE e do módulo de ruptura (MOR) com o aumento do teor de umidade. Estes autores, além de KOLLMANN & CÔTÉ (1968), US DEPARTMENT OF AGRICULTURE (1987), entre outros, enfatizam a necessidade de correção do teor de umidade das peças submetidas a ensaios mecânicos para um valor padronizado, através de funções específicas. Este ajuste é importante devido ao alto efeito do teor de umidade nas propriedades da madeira.

CALORI & KIKUTI (1997) compararam as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus dunnii*, aos 20 anos, e concluíram que a espécie apresenta estas características superiores ao *E. grandis* na mesma idade. Os autores também estudaram a variação destas propriedades em três posições do tronco, não encontrando diferença significativa para as propriedades mecânicas. Indicam a madeira desta

espécie para situações onde se exigem resistências mecânicas como: fins estruturais, assoalhos, parquetes, carrocerias, cabos de ferramentas, etc.

Comparando algumas propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus saligna* em três partes do tronco, DELLA LUCIA & VITAL (1983), encontraram maiores valores médios de densidade e resistência à flexão, entre outras propriedades, na madeira de cerne. Os autores sugerem que a presença de partes com propriedades distintas, em uma mesma peça, pode ocasionar alguns problemas no seu uso.

Uma alta correlação entre MOE e MOR em função da densidade da madeira (0,63 e 0,66, respectivamente) foi encontrada por ROCHA et al. (1988) para algumas madeiras da Amazônia.

Isto já apresentavam KOLLMANN & CÔTÉ (1968), mostrando diversos casos de madeiras de folhosas em que o MOE e o MOR crescem linearmente com o aumento da densidade.

DELLA LUCIA & VITAL (1980), utilizando um modelo exponencial para relacionar as propriedades mecânicas e a densidade básica, encontraram correlação para todas as propriedades estudadas, menos para duas delas, justificando que a relação entre estas duas propriedades pode vir a ser mais complexa.

A influência da posição dos anéis de crescimento em relação à direção de aplicação das cargas nos ensaios de MOE e MOR à flexão estática, para folhosas, foi estudada por LAHR & MASCIA (1986), que concluíram que não existe necessidade de orientar a posição dos anéis no momento dos ensaios.

CALORI & KIKUTI (1997) afirmam que os parâmetros relacionados à resistência e elasticidade das peças são os mais importantes na utilização como material de construção. Porém, LAHR & MASCIA (1986), ressaltam ainda, que a madeira, mesmo sendo um dos materiais mais utilizados para a construção de estruturas, não é perfeitamente caracterizada. O conhecimento mais amplo das propriedades relacionadas, por exemplo, com a elasticidade da madeira irá permitir a previsão, com maior exatidão, do comportamento dos elementos estruturais.

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 Localização da área

Os dados e o material para este estudo foram coletados em um povoamento clonal experimental, de propriedade da empresa Riocell S.A., localizado no Horto Florestal Passo da Estância, município de Barra do Ribeiro (RS), próximo a capital do Estado. O experimento está localizado a aproximadamente, 30° 20' de latitude sul e 51° 26' de longitude oeste, sendo que a região situa-se à uma altitude em torno de 100 metros.

3.2 Origem do experimento

As mudas utilizadas na implantação do experimento são de origem clonal, sendo usualmente denominadas na empresa como “clone 4013 II” de *Eucalyptus saligna* Smith. Estas mudas foram produzidas através de estacas enraizadas, conduzidas em casa de vegetação, pertencente ao viveiro florestal da empresa.

3.3 Características edafoclimáticas

O solo da área em estudo pertence a Unidade de Mapeamento Camaquã, que se caracteriza por ser predominantemente do tipo podzólico vermelho amarelo, de textura argilosa e relevo ondulado a fortemente ondulado. São solos profundos e bem drenados (LEMOS et al., 1973).

Segundo o mesmo autor, o clima da região é do tipo “Cfa”, subtropical úmido, segundo a classificação climática de Köppen, caracterizado por apresentar temperatura média anual de 18 a 19,3 °C. A precipitação anual é superior a 1.200 mm, podendo ocorrer ligeira estiagem de novembro à março.

3.4 Características do experimento

O experimento foi implantado em junho de 1988, sendo estabelecidas parcelas de 50 x 60 m em delineamento inteiramente casualizado, com arranjo fatorial, sendo os fatores os espaçamentos e os níveis as doses de adubo. Os espaçamentos foram definidos por 3 x 2 m, 3 x 3 m e 3 x 4 m (6, 9 e 12 m², respectivamente) e a fertilização, com adubo de nome comercial FOSNAP (fosfato natural ativado), nas doses de 400 e 800 Kg/ha, distribuído à lanço.

Os tratamentos utilizados são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 - Distribuição dos espaçamentos e das doses de adubo nos tratamentos.

Tratamento	Espaçamento(m)	Espaço vital (m ²)	Adubação (Kg/ha)
T1	3 x 2	6	400
T2	3 x 3	9	400
T3	3 x 4	12	400
T4	3 x 2	6	800
T5	3 x 3	9	800
T6	3 x 4	12	800

Em cada uma das parcelas foram alocadas duas sub-parcelas permanentes, com tamanho fixo de 144 m², para medição das variáveis dendrométricas.

O preparo do solo foi feito com escarificador e gradagem, sendo que antes desta foi realizada a adubação. O plantio foi feito em solo úmido, em dia sem vento e com temperatura em torno de 20 °C.

3.5 Obtenção dos dados

3.5.1 Estudo do crescimento

Para o estudo do crescimento em diâmetro, altura e volume do clone de *Eucalyptus saligna* nos diferentes tratamentos, foram tomadas à partir do

terceiro ano, as informações de diâmetro à altura do peito (DAP) e altura (h), coletadas anualmente nas sub-parcelas permanentes de medição. Os dados de DAP foram obtidos pela medição das árvores da parcela com suta, com precisão de décimos de centímetros. Os dados de altura, em metros, foram obtidos através da utilização de hipsômetro de Blume-Leiss.

Os volumes por árvore, em m³, foram obtidos através da cubagem de amostras coletadas durante as medições das parcelas e ajustados através dos modelos apresentados por SCHNEIDER (1997), descritos na Tabela 2. Os dados foram processados pelo pacote “Statistical Analysis System”, versão 6.08 (SAS, 1993).

TABELA 2 - Modelos de volume.

Nº	EQUAÇÕES	AUTORES
1	$v = b_0 + b_1d + b_2d^2 + b_3dh + b_4d^2h + b_5h$	MEYER
2	$v = b_0 + b_1d + b_2d^2 + b_3dh^2 + b_4d^2h$	MEYER-modificada
3	$v = b_0 + b_1d^2 + b_2d^2h + b_3h$	STOATE
4	$v = b_0 + b_1d$	BERKHOUT
5	$v = b_0 + b_1d^2h$	SPURR
6	$v = b_0 + b_1d + b_2d^2$	HOHENADL-KRENN
7	$v = b_0 + b_1d^2$	KOPEZKI GEHRH.
8	$v = d^2(b_0 + b_1h)$	OGAYA
9	$\ln v = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln^2 d + b_3 \ln h + b_4 \ln^2 h$	PRODAN
10	$\ln v = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln h$	SCHUMACHER-HALL
11	$\ln v = b_0 + b_1 \ln d^2 h$	SPURR
12	$\ln v = b_0 + b_1 \ln d + b_2 d^{-1}$	BRENAC
13	$\ln v = b_0 + b_1 \ln d$	HUSCH

Sendo: v=volume comercial sem casca por árvore, em m³; d=diâmetro à altura do peito, em cm; h=altura total, em m; ln=logaritmo neperiano; b₀, b₁, b₂, b₃, b₄, b₅=coeficientes da regressão.

O melhor modelo foi selecionado com base nas estatísticas de coeficiente de determinação ($R^2_{aj.}$), erro padrão da estimativa em percentagem ($S_{yx}\%$) para o caso de variáveis dependentes transformadas, índice de Furnival em porcentagem (IF%) para o caso de variáveis dependentes logaritmizadas, além de análise gráfica de resíduos, conforme proposto por SCHNEIDER (1997).

O modelo selecionado serviu para estimar o volume comercial sem casca (vcsc) das árvores medidas nos inventários anuais.

O volume comercial sem casca por hectare (V/ha), aos 126 meses de idade, foi obtido através do somatório dos vcsc por árvore em cada sub-parcela de 144 m², sendo o resultado transformado para valor por hectare.

3.5.2 Determinação da densidade básica

Para o estudo da densidade básica aos 126 meses de idade, a metodologia utilizada para a seleção de amostras foi adaptada da norma D 5536-94 (ASTM, 1995b). Em cada parcela procurou-se uma orientação fixa (norte), sendo selecionadas e abatidas 10 árvores de tamanho igual ao diâmetro médio (\bar{d}) \pm 1 desvio-padrão (σ) de cada tratamento, obtido por inventário prévio, totalizando 60 árvores-amostra. Para cada árvore tomou-se o cuidado de observar a área (espaçamento) referente a cada tratamento, evitando locais com falhas como vizinhos.

O número de árvores a serem abatidas foi determinado a partir do recomendado por FLORES (1999), que sugeriu que 7 árvores seriam suficientes para a determinação da densidade básica. Considerando uma pequena margem de segurança, optou-se pela coleta de 10 indivíduos por tratamento. Em cada parcela foram coletadas apenas árvores médias.

As 10 amostras de cada parcela foram cubadas pelo Método de Smalian, sendo tomados os diâmetros à 0,10 , 0,30 e 1,30 m e a partir de então de metro em metro até a altura total da árvore.

Das árvores-amostra foram retiradas seções transversais à 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial (diâmetro mínimo de 6 cm), além de uma fatia no DAP, para determinação da densidade básica em cada posição da árvore. De cada fatia foram retiradas duas cunhas opostas, contendo partes de cerne e alburno, sendo determinada a densidade básica destas pelo Método da Balança Hidrostática, de acordo com a metodologia de testes para densidade básica especificada pela norma D 2395-94 (ASTM, 1995c). O cálculo consiste na determinação da razão entre o peso seco em estufa da amostra de madeira (103 ± 2 °C) e o volume da amostra saturada em água, ou seja:

$$db = \frac{\text{Peso seco da amostra (g)}}{\text{Volume da amostra saturada em água (cm}^3\text{)}} \quad (1)$$

Onde: db = densidade básica da madeira, em g/cm³.

Após a obtenção da densidade em cada posição relativa do tronco, foi realizada a determinação da densidade básica média da árvore, através da ponderação dos valores de densidade obtidos em cada posição com os volumes sem casca correspondentes entre duas posições sucessivas, conforme:

$$\bar{db} = \frac{[(db_{0\%} + db_{1,3})/2] \cdot v_1 + [(db_{1,3} + db_{25\%})/2] \cdot v_2 + \dots + [(db_{75\%} + db_{100\%})/2] \cdot v_5}{V_{csc}} \quad (2)$$

Onde: \bar{db} = densidade básica média da árvore, em g/cm³;
 db_i = densidade básica na posição i, em g/cm³;
 v_j = volume sem casca correspondente a duas posições sucessivas, em m³;
 V_{csc} = volume comercial sem casca da árvore, em m³.

3.5.3 Determinação da resistência à flexão estática

Para o estudo da resistência à flexão estática foram utilizadas 5 árvores de cada parcela, totalizando 30 árvores-amostra. Estas árvores foram as mesmas coletadas para as amostras de densidade básica. De cada árvore foram retiradas as duas primeiras toras. Estas, com 2,5 m de comprimento cada, foram retiradas a partir do DAP e 25% da altura comercial, respectivamente, a fim de evitar a possibilidade de obtenção de toras com comprimentos diferentes (devido à variação das alturas relativas).

Das toras foram retirados pranchões centrais, contendo a medula, com aproximadamente oito centímetros de espessura. A utilização das pranchas centrais garantiu a orientação do anéis de crescimento e o posicionamento correto dos corpos de provas no momento dos testes.

Após cinco meses de secagem ao ar, os pranchões foram desdobrados em corpos de prova livres de defeitos, para os ensaios de resistência à

flexão estática. As dimensões dos corpos de prova (2,5 x 2,5 x 41 cm) são especificadas na segunda parte da norma D 143-94 (ASTM, 1995a), para madeira proveniente de toras de pequenas dimensões. Para cada tora foram retirados oito corpos de prova, perfazendo um total de 80 amostras por tratamento. Este foi o número máximo de corpos de prova livres de defeitos retirados da menor tora.

Os corpos de prova foram acondicionados em câmara climatizada a 20°C e 65% de umidade relativa do ar, até atingirem teor de umidade de equilíbrio de, aproximadamente, 12%. Este é um valor médio de umidade de equilíbrio adotado pela maioria dos países, pois é adquirido pela madeira em condições climatizadas (DURLO, 1991).

Os ensaios de resistência à flexão estática foram realizados em Máquina Universal de Ensaios de Materiais, marca Wolpert, do Laboratório de Produtos Florestais, do Departamento de Ciências Florestais da UFSM. Os testes foram conduzidos a uma velocidade constante de 1,3 mm/min, conforme a norma D 143-94 (ASTM, 1995a), com a carga aplicada no centro do vão da viga. Antes dos ensaios, para cada peça foram medidos com paquímetro os valores de largura e espessura dos corpos de prova, bem como o comprimento e o peso da amostra, para determinação da densidade básica aparente à 12% de umidade (relação entre o peso seco da amostra e o volume à 12% de umidade). De cada corpo de prova foi retirado, após o teste, uma amostra para determinação do teor de umidade.

A partir destes ensaios foram determinados o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE), em Kgf/cm², através das seguintes expressões:

$$\text{MOR} = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (3) \qquad \text{MOE} = \frac{\Delta P \cdot L^3}{4 \cdot \Delta_L \cdot b \cdot h^3} \quad (4)$$

Onde: P = carga máxima concentrada aplicada no centro do vão na viga, em Kgf;

L = vão (distância entre apoios) da viga, fixado em 36 cm, conforme especificações da norma D 143-94;

b, h = largura e espessura central da viga, respectivamente, em cm;

$\Delta P = P_2 - P_1$, ou a diferença entre duas cargas na região elástica, em Kgf;

$\Delta L = d_2 - d_1$, ou diferença entre as deformações correspondentes às cargas P_2 e P_1 , em cm.

Após a determinação do MOE e do MOR, estes valores foram corrigidos para um teor de umidade de 12% (visto que nem todas as peças apresentavam exatamente este teor no momento dos testes), a fim de se padronizar os dados. A correção foi feita pela expressão (BODIG & JAYNE, 1982):

$$\text{Log}(M) = \text{Log}(m) + \left(\frac{\text{TU}_m - \text{TU}_M}{\text{PSF} - \text{TU}_M} \right) * \text{Log}(f) \quad (5)$$

Onde: M = valor de MOE ou MOR corrigido, à 12% de umidade;

m = valor de MOE ou MOR ao teor de umidade no momento do teste;

TU_m = teor de umidade no momento do teste;

TU_M = teor de umidade desejado (12%);

PSF = ponto de saturação das fibras;

f = fator de correção (razão entre valores para madeira seca ao ar e a madeira verde.

O PSF utilizado foi de 31%, conforme encontrado por LIMA et al. (1986) para *Eucalyptus saligna*. Os fatores de correção utilizados foram de 1,29 e 1,87, respectivamente para MOE e MOR, sendo uma média para a madeira de folhosas, conforme BODIG & JAYNE (1982), por não terem sido encontrados valores para a espécie na literatura.

3.6 Análise estatística

3.6.1 Parâmetros dendrométricos

Os dados médios de volume comercial sem casca (vcsc), por árvore e por unidade de área, DAP e h, provenientes do inventário das sub-parcelas e das árvores-amostra para densidade, na idade de 126 meses, foram submetidos a análise de variância e, no caso de rejeição da hipótese de

igualdade de médias entre tratamentos, ao teste de médias (Least Significant Difference – LSD, $\alpha = 5\%$), a fim de verificar a existência de diferenças entre os tratamentos do experimento. Também o volume por hectare (V/ha) foi analisado com os mesmos objetivos.

Considerando a possibilidade de se utilizar o espaçamento como variável contínua (espaço vital), os dados de DAP, h e vcsc, em função do espaço vital e das doses de adubo, foram submetidos a análise de regressão.

Para tanto, os dados foram processados pelo pacote “Statistical Analysis System” (SAS, 1993), onde foi aplicado o procedimento Stepwise de modelagem de regressão. O modelo máximo de regressão foi definido como:

$$Y = f(s, a, s^2, a^2, s^3, a^3, 1/s, 1/a, s.a, s^2a, a^2s)$$

Onde: Y = DAP, h ou vcsc, em cm, m e m³, respectivamente;
 s = espaço vital, em m²;
 a = dose de adubo, em Kg/ha.

O melhor modelo foi escolhido através das estatísticas de $R^2_{aj.}$, S_{yx} , $F_{calc.}$ e análise gráfica dos resíduos.

3.6.2 Estudo do crescimento

Para o estudo do comportamento do crescimento em diâmetro, altura e vcsc por árvore em função da idade, para cada tratamento, foi ajustada a função de crescimento de Backman, apresentada por FINGER (1992) como uma das funções possíveis de serem utilizadas para descrever o crescimento das árvores. Esta função é expressa por:

$$Y = e^{b_0 + b_1 \ln t + b_2 \ln^2 t} \quad (6)$$

Onde: Y = tamanho da variável na idade t;
 t = idade;

b_0, b_1, b_2 = coeficientes do modelo.

Os dados de diâmetro e altura foram obtidos através das medições anuais das parcelas de inventário, a partir do terceiro ano. Os respectivos volumes foram obtidos através da equação selecionada para estimar o volume comercial com casca através do diâmetro e da altura, conforme seção 3.5.1.

Para estudar as tendências de crescimento em DAP, h e vcsc, em todos os tratamentos estudados, foi utilizada a análise de covariância, que permitiu avaliar estatisticamente a diferença entre níveis (tratamentos) e as diferenças de inclinação (interação entre idade e tratamento) das curvas de crescimento, com o objetivo de verificar a possibilidade de agrupar curvas (tratamentos) com mesmas características de crescimento. Esta avaliação foi realizada através do seguinte modelo matemático:

$$Y = f[\ln t, \ln^2 t, \text{tratamento}, (\text{idade} * \text{tratamento})]$$

Onde: Y = DAP, h ou vcsc;

t = idade;

idade*tratamento = interação idade/tratamento.

Para auxiliar a análise de covariância foi realizada uma avaliação gráfica (visual) das curvas de crescimento, que permitiu agrupar os tratamentos com mesmo comportamento de crescimento.

A produção em V/ha foi estudada através da análise gráfica das curvas de crescimento. Os valores por idade foram obtidos através da multiplicação do volume por árvore da curva de crescimento em vcsc pelo número de árvores de cada tratamento.

3.6.3 Comportamento da densidade básica

Os dados de densidade básica em função do espaçamento (ou espaço vital) e da adubação foram submetidos à análise de variância para experimento bifatorial e, no caso de rejeição da hipótese de igualdade de

médias entre tratamentos, ao teste de médias (teste T - Least Significant Difference - LSD, $\alpha=5\%$).

Do mesmo modo, com a possibilidade de se utilizar o espaçamento como variável contínua (espaço vital - quantitativo), os dados de densidade básica em função do espaço vital e das doses de adubo foram submetidos a análise de regressão, através do mesmo procedimento utilizado na seção 3.6.1. O modelo máximo de regressão utilizado (em função do espaço vital e da adubação) também foi o mesmo, diferindo apenas em relação à variável dependente (densidade básica), visto que não foram encontrados modelos pré-determinados para descrever a variação desta variável em função do espaço vital e da adubação.

A densidade básica também foi relacionada com as variáveis DAP, altura e vcsc, através do procedimento Stepwise, sendo utilizados como modelos máximos de regressão:

$$db = f(d, d^2, d^3, 1/d, h, h^2, h^3, 1/h, d.h, d^2h, dh^2)$$

$$db = f(v, v^2, v^3, 1/v)$$

Onde: db = densidade básica da madeira, em g/cm³;

d = diâmetro à altura do peito, em cm;

h = altura em metros;

v = volume comercial sem casca individual, em m³.

3.6.4 Resistência à flexão estática

Os dados de resistência à flexão estática (MOE e MOR) em função do espaçamento (ou espaço vital), e da adubação, assim como para a densidade básica, foram submetidos a análise de variância para experimento bifatorial e, no caso de rejeição da hipótese de igualdade de médias entre tratamentos, ao teste de médias (teste T - Least Significant Difference - LSD, $\alpha=5\%$). A influência da posição da tora sobre o MOE e o MOR também foi avaliada através de análise de variância e teste de médias.

Do mesmo modo, considerando a possibilidade de se utilizar o espaçamento como variável contínua (espaço vital), os dados de densidade

básica em função do espaço vital e das doses de adubo foram submetidos a análise de regressão, através do mesmo procedimento utilizado na seção 3.6.1.

O modelo máximo de regressão utilizado (em função do espaço vital e da adubação) também foi o mesmo, diferindo apenas em relação às variáveis dependentes (MOE e MOR).

Os valores de MOE e MOR também foram relacionados com a densidade básica média para cada tratamento. Foram ajustados também modelos relacionando MOE e MOR à densidade básica aparente à 12% de umidade, determinada para cada corpo de prova individualmente. O procedimento utilizado foi o mesmo descrito na seção 3.6.1. O modelo máximo de regressão foi definido por:

$$Y = f(x, x^2, x^3, 1/x, \ln x, \ln^2 x)$$

Onde: Y = MOE ou MOR, em Kgf/cm²;

x = densidade básica da madeira ou densidade básica aparente à 12% de umidade, em g/cm³.

O melhor modelo foi escolhido através das estatísticas de R², S_{yx}, F_{calc.} e análise gráfica de resíduos

3.6.5 Produção de massa seca

Os dados de produção de massa seca (t/ha) em função do espaçamento (ou espaço vital) e da adubação também foram submetidos a análise de variância, conforme o mesmo procedimento descrito na seção 3.6.1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise dos parâmetros dendrométricos

4.1.1 Características dendrométricas nos tratamentos

Os valores médios e desvio-padrão (σ) dos dados de diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total (h), obtidos através do inventário realizado no experimento, aos 126 meses de idade, encontram-se resumidos na Tabela 3.

TABELA 3 - Resultados médios e desvio-padrão (σ) de diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total (h) para os tratamentos estudados, aos 126 meses de idade.

Variável	Tratamento					
	1	2	3	4	5	6
DAP (cm)	20,2	23,3	24,8	19,7	23,3	26,2
σ_{DAP} (cm)	4,7	2,2	6,2	3,5	2,4	2,8
h (m)	30,0	35,3	34,4	31,7	34,5	34,3
σ_h (m)	4,5	1,1	6,6	2,9	1,6	2,6
N/ha	1632	1111	833	1632	1111	833

Sendo: DAP = diâmetros à altura do peito; σ_{DAP} = desvio-padrão em DAP; h = altura total; σ_h = desvio-padrão em h; N/ha = número de árvores por hectare.

Através dos dados apresentados na Tabela 3 é possível verificar que existe uma notável variação nos resultados de DAP e h. Em destaque, o tratamento 1, com DAP médio de 20,2 cm e σ de 4,7 cm, e o tratamento 3, com DAP médio de 24,8 cm e σ de 6,2 cm, apresentam a maior variação desta variável dendrométrica. Também para a variável h estes dois tratamentos apresentam a maior variação (h média de 30,0 m e σ de 4,5 m e, h média de 34,4 m e σ de 6,6 m, respectivamente para os tratamentos 1 e 3).

A grande amplitude dos dados em DAP e h, detectada através dos altos valores de σ , mostra que existe considerável variação entre as árvores

de cada tratamento, apesar de originadas de um único clone e estabelecidas em um mesmo local.

Esta variação intra-tratamentos pode ser decorrente de pequenas alterações no ambiente que, segundo VALERA & KAGEYAMA (1988), são suficientes para ocasionar modificações fenotípicas significativas. Também FONSECA et al. (1996) concluíram que as variações dos resultados de uma mesma característica entre árvores de um único clone só podem ser devidas aos fatores ambientais. Porém, FLORES (1999) ressalta que os fatores ambientais estão muito além das características de sítio, enfatizando variações na qualidade das mudas, forma de plantio, mato-competição, ataque diferenciado de insetos e pisoteio de animais.

SILVEIRA & HIGASHI (1999) também destacam que o estado de maturação das plantas tem grande efeito sobre a propagação de tecidos, podendo ocasionar uma variação clonal significativa.

Através dos resultados do inventário, resumidos na Tabela 3, foi possível a seleção e abate das árvores-amostra para densidade básica, conforme descrito na seção 3.5.2.

4.1.2 Diâmetro à altura do peito e altura média

A análise estatística dos dados mostrou que, aos 126 meses de idade, o fator níveis de adubação não foi significativo para um nível $\alpha=5\%$ de probabilidade de erro e valor de $F_{\text{tab.}} = 5,99$, tanto para a variável altura, com $F_{\text{calc.}} = 0,40$ (Anexo I), como para a variável diâmetro, com $F_{\text{calc.}} = 0,18$ (Anexo II). A interação dos fatores adubação e espaço vital também não foi significativa para o mesmo nível de probabilidade de erro e $F_{\text{tab.}} = 5,14$, apresentando valores de $F_{\text{calc.}} = 3,45$ para altura e $F_{\text{calc.}} = 4,36$ para diâmetro. Já o fator espaço vital mostrou ser de influência significativa sobre as variáveis estudadas, apresentando valores de $F_{\text{calc.}}$ de 40,85 e 110,88, respectivamente, para altura e diâmetro ($F_{\text{tab.}} = 5,14$). O teste de médias (teste T – LSD) para o fator espaço vital, com os dados de DAP e h do inventário, aos 126 meses de idade, é apresentado na Tabela 4.

A Tabela 4 mostra uma tendência significativa de aumento do DAP médio com o aumento do espaçamento, confirmando a maioria dos resultados encontrados na literatura (MONTEIRO et al., 1984; BLANCO et al., 1988). A maior média de DAP (25,5 cm) é alcançada pelas árvores com maior espaço vital (12 m²), seguida pelas médias de 23,2 cm e 19,8 cm, respectivamente para as áreas de plantio de 9 m² e 6 m². O menor valor de DAP, encontrado para o menor espaçamento, deve-se a maior competição entre os indivíduos neste espaçamento.

TABELA 4 -Teste de médias para o fator espaço vital para as variáveis DAP e h.

Espaço vital (m ²)	DAP (cm)	LSD*	h (m)	LSD*
12	25,5	A	34,4	A
9	23,2	B	34,9	A
6	19,8	C	30,9	B

Sendo: *Médias seguidas de letras iguais não diferem significativamente entre si; DAP = diâmetro à altura do peito; h = altura total; LSD = Least Significant Difference.

Os valores de altura média para os espaços vitais de 12, 9 e 6 m² são, respectivamente, 34,4 m, 34,9 m e 30,9 m (Tabela 4). As alturas médias das duas maiores áreas vitais (12 e 9 m²) não diferem significativamente entre si. Estas médias porém, diferem significativamente da média obtida no menor espaço vital (6 m²). Este resultado também foi encontrado por LOPEZ & APARICIO (1995), que relacionaram as diferenças de altura encontradas em seu experimento com o nível de competição entre os indivíduos, justificando que o maior número de árvores dominadas ocasiona a tendência de alturas médias menores nos povoamentos mais densos. Por outro lado, SILVA (1990) e ASSIS et al. (1999) afirmaram que as árvores pertencentes aos espaçamentos mais reduzidos, como consequência da busca por luz, teriam maior crescimento em altura.

Os níveis de adubação não mostram influência significativa no desenvolvimento em diâmetro e altura das árvores, apresentando médias de 22,9 cm e 22,8 cm de diâmetro para as doses de 400 Kg/ha e 800 Kg/ha, respectivamente. As médias para a variável altura foram de 33,5 m e 33,3 m para as doses de 400 Kg/ha e 800 Kg/ha, respectivamente. Sobre este

assunto, KIKUTI & NAMIKAWA (1990) em seu estudo da interação de clones com a fertilização em *E. saligna*, encontraram que os efeitos da adubação somente foram significativos até os dois anos de idade para as características de DAP e altura.

O procedimento Stepwise de regressão foi utilizado para se obter modelos que pudessem descrever as variáveis DAP e h, em função do espaço vital e/ou das doses de adubação, apesar desta última não ser significativa pelo teste F (o procedimento utilizado foi padrão para todas as variáveis dependentes). A Tabela 5 mostra os modelos, coeficientes e estatísticas obtidas através deste procedimento.

TABELA 5 - Modelos de regressão obtidos pelo procedimento Stepwise para descrever o diâmetro à altura do peito (DAP), em cm, e a altura total (h), em m, em função do espaço vital (s), em m², e das doses de adubação (a), em Kg/ha.

Passo	Modelo	Coeficientes	Estatísticas			
			F'	Prob>F	R ² _{aj.}	S _{yx}
1	DAP = b ₀ + b ₁ .s	b ₀ =12,495404 b ₁ =1,200366	149	0,0001	0,44	3,23
1	h = b ₀ + b ₁ . $\frac{1}{s}$	b ₀ =41,674556 b ₁ =-63,913479	124	0,0001	0,39	2,77
2	h = b ₀ + b ₁ . $\frac{1}{s}$ + b ₂ .s ² a	b ₀ =44,741766 b ₁ =-79,619293 b ₂ =-0,000023	74 4,6	0,0001 0,0334	0,41	2,74
3	h = b ₀ + b ₁ .a ³ + b ₂ . $\frac{1}{s}$ + b ₃ .s ² a	b ₀ =49,458397 b ₁ =1,0 E-09 b ₂ =-110,95836 b ₃ =-0,000067	9,4 66 14,2	0,0024 0,0001 0,0002	0,42	2,69
4	h = b ₀ + b ₁ .sa + b ₂ a ³ + b ₃ . $\frac{1}{s}$ + b ₄ .s ² a	b ₀ =57,575986 b ₁ =-0,003249 b ₂ =2,0 E-08 b ₃ =-133,02513 b ₄ =0,000090	3,7 ^{ns} 6,3 56 1,2 ^{ns}	0,0562 0,0131 0,0001 0,2823	0,44	2,67
5	h = b ₀ + b ₁ .s + b ₂ .a ³ + b ₃ . $\frac{1}{s}$	b ₀ =53,588456 b ₁ =-0,001467 b ₂ =1,0 E-08 b ₃ =-123,73097	16,9 15,4 63	0,0001 0,0001 0,0001	0,43	2,67

Sendo: F' = Valor de F calculado para a variável independente; Prob>F = nível de probabilidade de erro; R²_{aj.} = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão da estimativa y; ns = não significativo ao nível de tolerância estabelecido (5%).

Para todas as variáveis apresentadas na Tabela 5 não houve mais modelos que pudessem explicar a sua variação com o efeito do

espaçamento e da adubação, para o nível de tolerância estabelecido pelo procedimento Stepwise.

Para a variável DAP, o procedimento Stepwise selecionou apenas um modelo de regressão, conforme Tabela 5. Este modelo apresentou valores de $R^2_{aj.}$ de 0,44 e S_{yx} de 3,23 cm, não mostrando tendências do modelo de regressão (Apêndice A). A variável espaço vital mostrou então, ter maior correlação com a variável dependente, em relação às outras variáveis testadas. O valor de F da variável independente, igual a 149, foi altamente significativo. A não influência do nível de adubação sobre a característica DAP já foi constatada através de análise de variância (Anexo II).

Para a variável h foram selecionados cinco modelos de regressão, conforme Tabela 5. Considerando as estatísticas de $R^2_{aj.}$, S_{yx} , F e análise de resíduos (Apêndice B), o modelo escolhido para descrever a altura foi aquele obtido no passo 5, com valores de $R^2_{aj.}$ e S_{yx} iguais a 0,43 e 2,67 m, respectivamente. Embora o modelo não tenha apresentado as melhores estatísticas em relação aos outros modelos, estes não foram escolhidos por apresentarem alguns coeficientes com baixos valores de F, sendo alguns abaixo do valor do nível de significância estabelecido neste trabalho (5% de probabilidade de erro), além de tendências da regressão na análise gráfica dos resíduos. Pode-se observar a pequena influência da variável adubação, através dos baixos valores dos coeficientes e da estatística F, nos modelos de regressão selecionados pelo procedimento Stepwise.

4.1.3 Volume comercial sem casca por árvore

Para descrever o volume comercial sem casca por árvore (vcsc), em função de variáveis de fácil obtenção (DAP e h) foram testados os modelos apresentados na seção 3.5.1. Na Tabela 6 encontram-se os coeficientes e as estatísticas obtidas para cada modelo.

As estatísticas apresentadas na Tabela 6 mostram que os melhores modelos para estimar o vcsc são os de número 9, 10 e 11, que apresentam valores de R^2 iguais a 0,97; 0,96 e 0,96; valores de IF% iguais a 0,7; 0,8 e 0,8, respectivamente. Com base então, nas estatísticas apresentadas nesta

tabela e na análise gráfica de resíduos (Apêndice C), o modelo selecionado para descrever o volume comercial sem casca, em função de variáveis dendrométricas DAP e h, foi o de número 9 (Prodan), por apresentar estatísticas superiores aos demais modelos e por apresentar melhor distribuição gráfica de resíduos.

TABELA 6 -Coeficientes e estatísticas dos modelos testados para volume comercial sem casca por árvore.

N ^o EQ.	COEFICIENTES						ESTATÍSTICAS		
	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	R ² aj.	S _{yx} %	IF%
1	1,050656	-0,121784	0,003149	0,005610	-0,000114	-0,049473	0,94	10,35	
2	-0,009161	-0,021274	0,002310	0,000036	-0,000063		0,93	10,56	
3	-0,335566	0,000471	0,000006	0,015737			0,92	11,65	
4	-0,364505	0,037890					0,84	16,43	
5	0,070387	0,000025					0,89	13,74	
6	-0,501984	0,051398	-0,000315				0,84	16,31	
7	0,038606	0,000850					0,80	18,40	
8	-0,000044	0,000031					0,64	11,58	
9	-18,489576	3,699164	-0,337869	4,304399	-0,447541		0,97		0,7
10	-10,929261	1,705130	1,413692				0,96		0,8
11	-10,198842	0,976166					0,96		0,8
12	-0,380834	0,394096	-35,690110				0,92		1,1
13	-3,406648	0,114169					0,80		1,1

Sendo: R²aj. = coeficiente de determinação; S_{yx}% = erro padrão da estimativa em percentagem; IF% = índice de Furnival em percentagem; b₀, b₁, b₂, b₃, b₄, b₅ = coeficientes.

Os dados de vcsc foram então relacionados com os respectivos tratamentos e submetidos a análise de variância e teste de médias (teste T – LSD). A análise de variância (Anexo III) mostra que para esta variável apenas o fator espaço vital foi significativo, apresentando valor de F_{calc.}=138,4, superior ao valor de F_{tab.}=5,14, para um nível α =5% de probabilidade de erro. O fator adubação apresentou valor de F_{calc.}=0,30, inferior ao valor de F_{tab.}=5,99, para o mesmo nível de probabilidade de erro. Também a interação entre os dois fatores não mostrou significância, apresentando F_{calc.}=0,53, inferior ao valor de F_{tab.}=5,14. A Tabela 7 mostra o teste de médias para o fator espaço vital, considerando a variável vcsc.

A Tabela 7 mostra que o maior espaço vital (12 m²) apresenta os indivíduos de maior vcsc (0,6787 m³), diferindo significativamente dos vcsc de 0,5772 m³ e 0,4032 m³, respectivamente pertencentes às áreas de 9 e 6 m². Estas últimas também diferem significativamente entre si.

TABELA 7 -Teste de médias para a variável volume comercial sem casca por árvore (vcsc) em função do fator espaço vital, aos 126 meses de idade.

Espaço vital (m ²)	vcsc por árvore (m ³)	LSD*
12	0,6787	A
9	0,5772	B
6	0,4032	C

Sendo: *Médias seguidas de letras iguais não diferem significativamente entre si; vcsc = volume comercial sem casca individual; LSD = Least Significant Difference.

Os resultados apresentados estão em concordância com aqueles encontrados na literatura, onde os maiores espaçamentos ocasionam maiores volumes individuais (SCHÖNAU, 1974, FISHWICK, 1976, COUTO et al., 1977, entre outros). O maior desenvolvimento em diâmetro e altura nos maiores espaçamentos contribuiu significativamente para a obtenção de volumes individuais também maiores nestes espaçamentos.

O fator adubação apresentou médias para vcsc de 0,5568 m³ e 0,5493 m³, respectivamente para 400 Kg/ha e 800 Kg/ha de adubo. Conforme o teste F, estas médias não diferem significativamente entre si. É possível que a amplitude das doses não seja suficiente para mostrar diferenças expressivas destas características, ou provavelmente nesta idade o crescimento do povoamento já não é influenciado pelo fator adubação. Também pode ocorrer que a grande variação intra-tratamentos esteja mascarando uma possível diferença entre tratamentos para estas características.

O procedimento Stepwise de regressão também foi utilizado para se obter modelos que pudessem descrever a variável vcsc em função do espaço vital e/ou das doses de adubação. A Tabela 8 mostra os modelos, coeficientes e estatísticas obtidas através deste procedimento.

Para a variável vcsc, o procedimento selecionou dois modelos de regressão, sendo escolhido aquele obtido no passo 1. Este modelo apresentou um valor altamente significativo de F para o coeficiente incluído (175), sendo preferencialmente escolhido em relação ao modelo do passo 2, que apresentou valor de F de um dos coeficientes não significativo ao nível

de tolerância proposto. O modelo escolhido apresentou um valor de R^2_{aj} . Igual a 0,48 e um erro padrão igual a 0,14 m³, não apresentando tendências do modelo de regressão (Apêndice D).

TABELA 8 - Modelos de regressão obtidos pelo procedimento Stepwise para descrever o volume comercial sem casca por árvore (vcsc), em m³, em função do espaço vital (s), em m², e das doses de adubação (a), em Kg/ha.

Passo	Modelo	Coeficientes	Estatísticas			
			F'	Prob>F	R^2_{aj}	S_{yx}
1	$vcsc = b_0 + b_1 \cdot s$	$b_0=0,054363$ $b_1=0,057962$	175	0,0001	0,48	0,14
2	$vcsc = b_0 + b_1 \cdot s + b_2 \cdot s^2 a$	$b_0=0,015406$ $b_1=0,067613$ $b_2=-9,1 E-07$	78 2,4 ^{ns}	0,0001 0,1261	0,48	0,14

Sendo: F' = Valor de F calculado para a variável independente; Prob>F = nível de probabilidade de erro; R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão da estimativa y; ^{ns} = não significativo ao nível de tolerância estabelecido (5%).

As variáveis DAP, h e vcsc, apesar de serem significativamente afetadas pelo espaçamento, conforme análise de variância e teste de médias (Tabelas 4 e 7), não se mostraram altamente relacionadas com este fator através do uso de modelos de regressão. A ampla dispersão dos dados observados pode ter ocasionado a baixa determinação dos modelos (que expressa a quantidade da variação total do modelo) e o erro padrão (que mede a dispersão entre os dados observados e estimados) relativamente alto. Além disso, o espaçamento não é a única variável a influenciar o desenvolvimento em DAP, h e volume das árvores. Existem diversos fatores ambientais, não considerados neste estudo, que podem ter contribuído para esta variação (seção 4.1.1).

4.1.4 Volume comercial sem casca por hectare

O volume comercial sem casca por hectare (V/ha), obtido através das parcelas de inventário, não mostrou diferenças significativas entre os tratamentos estudados, aos 126 meses de idade. Os valores de $F_{calc.}$ (4,53; 4,24 e 0,59), respectivamente para os fatores adubação, espaço vital e interação entre os fatores foram inferiores aos valores de $F_{tab.}$ (5,99 para o

fator adubação e 5,14 para o fator espaço vital e interação entre fatores). Com isto, os fatores adubação, espaço vital e a interação destes não mostraram influência sobre a produção em volume por unidade de área do clone estudado. O Anexo IV mostra a análise de variância para a variável estudada. As médias obtidas para a variável V/ha em função dos fatores estudados são apresentadas na Tabela 9.

TABELA 9 -Médias obtidas para a volume comercial sem casca por hectare (V/ha) em função dos fatores adubação e espaço vital, aos 126 meses de idade.

Adubação (Kg/ha)	V/ha (m ³ /ha)	Espaço vital (m ²)	V/ha (m ³ /ha)
400	650,69	6	657,57
800	615,73	9	641,37
		12	600,70

A Tabela 9, juntamente com o teste F, mostra que a adubação não apresentou influência significativa sobre a produção em volume comercial sem casca por hectare (V/ha) do clone. É visível, entretanto, que para a maior dose de adubação (800 Kg/ha) houve uma diminuição na ordem de 34,96 m³/ha, ao contrário do esperado. Entretanto, não se pode afirmar estatisticamente que a menor dose de adubo (400 Kg/ha) ocasionou o aumento do V/ha, visto que F não foi significativo ao nível de probabilidade de erro estabelecido (5%). Alguns autores, como MELLO et al. (1970) e JACOB & BALLONI (1978), entre outros, citam aumentos de produção altamente significativos com maiores doses de adubação. Porém, considerando a análise estatística para o nível de confiança determinado, as médias de V/ha não diferem entre si, devendo a diferença existente ser ocasionada por fatores aleatórios e não pelo fator adubação. A não influência da adubação sobre as características dendrométricas do povoamento, algum tempo após o plantio, foi verificada por diversos autores, entre eles, BRITO et al. (1986) e KIKUTI & NAMIKAWA (1990). Todavia, para Brendmuehl, Fricker e Beaton apud BALLONI (1978) o efeito dos fertilizantes pode durar por vários anos (mais de 20 anos). É possível afirmar

para este estudo, que na idade estudada (10 anos), o efeito da fertilização sobre a produção não se mostra significativo.

Para o fator espaçamento pode-se observar, através da Tabela 9, um decréscimo do V/ha com o aumento do espaçamento. Apesar desta tendência, a análise de variância para esta variável (Anexo IV) mostra que os resultados não diferem significativamente entre si ao nível de significância estabelecido. Este resultado concorda com os estudos de KLEIN & FREITAS (1988) para *Eucalyptus saligna*, SOUZA (1995) para *Pinus* sp. e SILVEIRA et al.(1997) para clones de híbridos de *Eucalyptus* sp., os quais não encontraram diferenças significativas na produção entre os espaçamentos estudados. Já outros autores, como VITAL & DELLA LUCIA (1987), GARCIA et al. (1991), entre outros, encontraram influência significativa do espaçamento sobre a produção. Porém, SCHÖNAU (1974) afirma que o aumento significativo na produção de madeira com a diminuição do espaçamento, é produzido na sua totalidade nas menores classes diamétricas (de 5 – 12,5 cm na ponta fina). Os resultados apresentados na Tabela 9 permitem afirmar que a produção em V/ha para o clone não é afetada significativamente pelo espaçamento, podendo-se optar por qualquer espaço vital e considerar a economicidade na implantação de mudas, no corte e no transporte da madeira, que diminui consideravelmente nos espaçamentos maiores.

Deve-se porém, considerar que a produção de madeira não se limita a uma parcela reduzida e sim a grandes extensões, com vários hectares, o que pode ocasionar uma diferença significativa na produção volumétrica quando da utilização de espaçamentos mais amplos.

4.1.5 Estudo do crescimento

Os dados observados de diâmetro, altura e vcsc por árvore permitiram o ajuste da função de Backman, com o objetivo de descrever o crescimento destas variáveis ao longo do tempo. Esta função foi ajustada para os dados a partir do terceiro ano de idade, visto que existe grande dificuldade para

descrever o comportamento das variáveis nos primeiros anos de vida das árvores.

4.1.5.1 Crescimento em diâmetro

A Tabela 10 mostra os coeficientes e as estatísticas respectivas a cada tratamento para descrever o crescimento da variável DAP em função da idade.

TABELA 10 - Coeficientes e estatísticas da função de Backman, ajustada para descrever o crescimento do diâmetro à altura do peito (DAP), em cm, ao longo do tempo (anos).

N ^o Trat.	COEFICIENTES			ESTATÍSTICAS		
	b ₀	b ₁	b ₂	R ²	S _{yx}	F
1	1,726037	0,733439	-0,081398	0,52	0,1788	170
2	1,597869	1,088226	-0,180885	0,86	0,0774	698
3	0,968054	1,864382	-0,383754	0,57	0,2045	118
4	1,528414	1,054284	-0,190669	0,62	0,1297	274
5	1,474959	1,252535	-0,230919	0,86	0,0786	663
6	1,328172	1,510905	-0,293873	0,82	0,0991	376

Sendo: R² = coeficiente de determinação; S_{yx} = erro padrão da estimativa; F = estatística F calculado; b₀, b₁, b₂ = coeficientes.

A Tabela 10 mostra um bom ajuste desta função para descrever o crescimento do DAP ao longo do tempo. As estatísticas mostram-se bastante significativas, tanto para R², com valores variando entre 0,52 (tratamento 1) e 0,86 (tratamentos 2 e 5), quanto para S_{yx}, com valores variando entre 0,0774 (tratamento 2), e 0,2045 (tratamento 3). Também os valores de F calculado apresentaram-se altamente significativos, variando de 118 a 698, confirmando a significância da função de Backman.

Estas equações foram então utilizadas para estimar o DAP médio de cada tratamento em função da idade. Os pares de dados (idade e DAP estimado) foram plotados e são apresentados na Figura 1.

Conforme esperado, os tratamentos que possuíam a maior área vital, ou seja, maiores espaçamentos, apresentaram os maiores diâmetros em todo o período observado, à exceção do tratamento 3 (espaço vital igual a 12 m²), que aos três anos de idade apresentava DAP inferior aos

tratamentos 2 e 5 (espaço vital igual a 9 m^2). Porém, próximo aos quatro anos de idade, esse tratamento evidenciou-se dos demais, juntamente com o tratamento 6, apresentando o comportamento esperado.

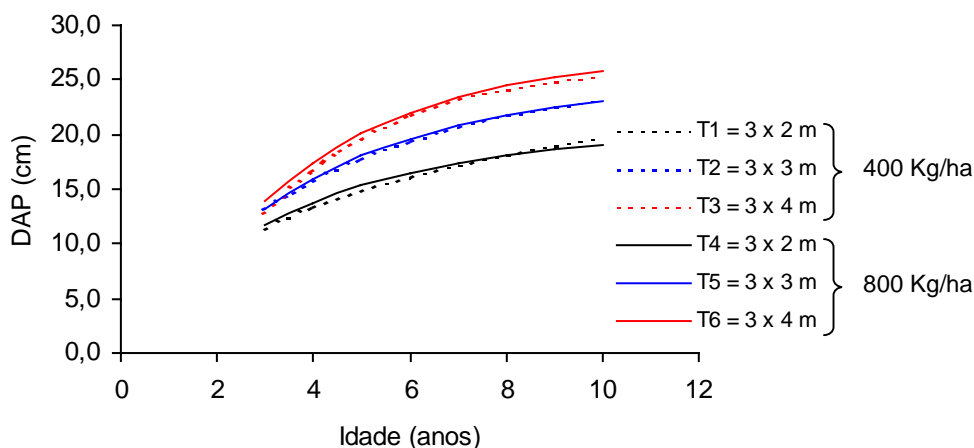


FIGURA 1 - Valores estimados de diâmetro à altura do peito (DAP) em função da idade, ajustados pela função de Backman, para os tratamentos estudados.

O tratamento 4 mostra-se superior ao tratamento 1 (ambos com espaço vital igual a 6 m^2), desde os três anos até aproximadamente oito anos de idade, mostrando ligeira influência da dose de adubo. A partir do oitavo ano, o tratamento 1 mostra pequena superioridade em relação ao tratamento 4, apresentando tendência de aumento do DAP até o décimo ano. Conforme apresentado pela análise de variância (Anexo II), o fator adubação não se mostrou significativo para a variável DAP aos dez anos de idade, apresentando apenas ligeira superioridade do tratamento 1 em relação ao tratamento 4 (Tabela 3). Pode-se visualizar, conforme a Figura 1, que este fator também não influenciou o comportamento do crescimento em DAP ao longo dos anos estudados. De acordo com o esperado, estes tratamentos, que constituíam o menor espaço vital, apresentaram valores inferiores de DAP em relação àqueles tratamentos com espaçamento maior.

Os tratamentos 2 e 5 apresentam comportamento praticamente idêntico em todo o período estudado, havendo quase a sobreposição das curvas. Isto evidencia a não influência do fator adubação para estes tratamentos, em todos os anos observados. Também conforme esperado, estes tratamentos tiveram crescimento em DAP significativamente superior aos tratamentos 1 e 4, e inferior aos tratamentos 3 e 6, durante todo o período de crescimento estudado. Apenas dos três aos quatro anos de idade o tratamento 3 foi inferior a estes tratamentos, conforme discutido anteriormente.

Os tratamentos 3 e 6 (espaço vital igual a 12 m²), que mostram comportamento semelhante no crescimento em DAP ao longo dos anos, com pequena superioridade do tratamento 6 em todo o período observado, são superiores em relação àqueles com menor espaço vital disponível.

Pode-se observar também que para os tratamentos 1 e 4 houve um achatamento das curvas anterior ao restante dos tratamentos, provavelmente devido à maior concorrência neste espaçamento.

O resultado da análise de covariância, para testar a existência de paralelismo e níveis semelhantes entre curvas, mostra que a hipótese de igualdade de inclinação (idade*tratamento) e de níveis (tratamento) das curvas de crescimento em DAP é rejeitada ao nível de 5% de probabilidade de erro, indicando padrões de crescimento diferenciados entre os tratamentos estudados (Tabela 11).

TABELA 11 - Análise de covariância para testar o paralelismo e diferença entre níveis das curvas de crescimento em diâmetro à altura do peito (DAP) dos tratamentos estudados.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob.>F	
Tratamento	5	17,2570	3,4514	170,37	0,0001	
Coeficientes:	ln I	1	51,4650	51,4650	2540,47	0,0001
	ln ² I	1	1,2496	1,2496	61,69	0,0001
Idade*Tratamento	5	0,4126	0,0825	4,07	0,0011	
Erro	1428	28,9285	0,0202			
Total	1440	99,3127				

Sendo: F.V. = fontes de variação; G.L. = graus de liberdade; S.Q. = soma de quadrados; Q.M. = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob>F = nível de probabilidade de erro; I = idade.

Esta tendência também pode ser verificada graficamente através da Figura 1, que mostra a possibilidade de agrupamento de tratamentos com mesma tendência de crescimento em DAP. O crescimento em DAP é semelhante para os tratamentos que constituem o mesmo espaçamento, a partir do terceiro ano de plantio, não evidenciando diferenças para o fator fertilização, apesar de ocorrer o cruzamento entre curvas com mesma tendência de crescimento. Os tratamentos possíveis de serem agrupados graficamente são os de número 1 e 4 (6 m²), 2 e 5 (9 m²), 3 e 6 (12 m²).

Os dados referentes a estes tratamentos foram agrupados, de forma a constituir os grupos A, B e C, respectivamente para os espaços vitais de 6, 9 e 12 m². Cada grupo foi novamente submetido ao ajuste da função de Backman, obtendo-se assim uma nova equação para descrever o crescimento em DAP de tratamentos com tendências semelhantes de crescimento. A Tabela 12 mostra os coeficientes ajustados por esta função para os grupos A, B e C.

TABELA 12 - Coeficientes e estatísticas da função de Backman, ajustada para descrever o crescimento do diâmetro à altura do peito (DAP), em cm, ao longo do tempo (anos), para os grupos A, B e C.

Grupo	COEFICIENTES			ESTATÍSTICAS		
	b ₀	b ₁	b ₂	R ²	S _{yx}	F
A	1,622288	0,900731	-0,138318	0,56	0,1556	413
B	1,536414	1,170380	-0,205902	0,86	0,0779	1365
C	1,264925	1,560361	-0,305140	0,68	0,1442	362

Sendo: R² = coeficiente de determinação; S_{yx} = erro padrão da estimativa; F = estatística F calculado; b₀, b₁, b₂ = coeficientes; A: grupo formado a partir dos dados agrupados dos tratamentos 1 e 4; B: grupo formado a partir dos dados agrupados dos tratamentos 2 e 5; C: grupo formado a partir dos dados agrupados dos tratamentos 3 e 6.

4.1.5.2 Crescimento em altura

No estudo da variável altura total, a Tabela 13 mostra os coeficientes e estatísticas obtidos pelo ajuste da função de Backman, para descrever o comportamento do crescimento desta variável ao longo do tempo, nos diferentes tratamentos estudados.

TABELA 13 - Coeficientes e estatísticas da função de Backman, ajustada para descrever o crescimento em altura média, em m, ao longo do tempo (anos).

N ^o Trat.	COEFICIENTES			ESTATÍSTICAS		
	b ₀	b ₁	b ₂	R ²	S _{yx}	F
1	1,271430	1,675348	-0,324584	0,79	0,1200	599
2	1,574797	1,222594	-0,163935	0,95	0,0591	2375
3	1,120475	1,750215	-0,308620	0,88	0,1075	658
4	1,460339	1,393347	-0,232396	0,93	0,0671	2250
5	1,279959	1,587499	-0,273018	0,96	0,0574	2467
6	1,118396	1,704659	-0,293445	0,95	0,0697	1441

Sendo: R² = coeficiente de determinação; S_{yx} = erro padrão da estimativa; F = estatística F calculado; b₀, b₁, b₂ = coeficientes.

Analisando a Tabela 13, pode-se verificar o excelente ajuste da função de Backman para os dados observados. As estatísticas mostram superioridade do ajuste para altura, em relação ao ajuste para diâmetro. Os valores de R² variaram entre 0,79 (tratamento 1) até 0,96 (tratamento 5) e os valores de S_{yx} variaram entre 0,0574 (tratamento 5) até 0,1200 (tratamento 1). Os valores de F calculado também mostraram-se altamente significativos, variando de 599 a 2467, confirmando a significância da regressão.

A Figura 2 mostra o comportamento do crescimento em altura ao longo dos anos, ajustado pela função de Backman, para os tratamentos estudados.

Observando a Figura 2 pode-se constatar que o crescimento em altura média praticamente não diferiu entre os tratamentos estudados, à exceção dos tratamentos 1 e 4, que mostram-se inferiores aos demais tratamentos a partir dos cinco anos de idade.

Esta diferença mostrou-se significativa aos dez anos de idade, conforme pôde ser verificado anteriormente na Tabela 4. Isto, segundo BALLONI & SIMÕES (1980) e LOPEZ & APARICIO (1995), pode ser devido ao nível de competição entre os indivíduos, mais acentuado a partir do quinto ano, onde o maior número de árvores dominadas ocasiona uma diminuição das alturas médias nos povoamentos mais densos. Porém, aproximadamente até o quinto ano, os tratamentos 1 e 4 mostraram-se superiores ao tratamento 6.

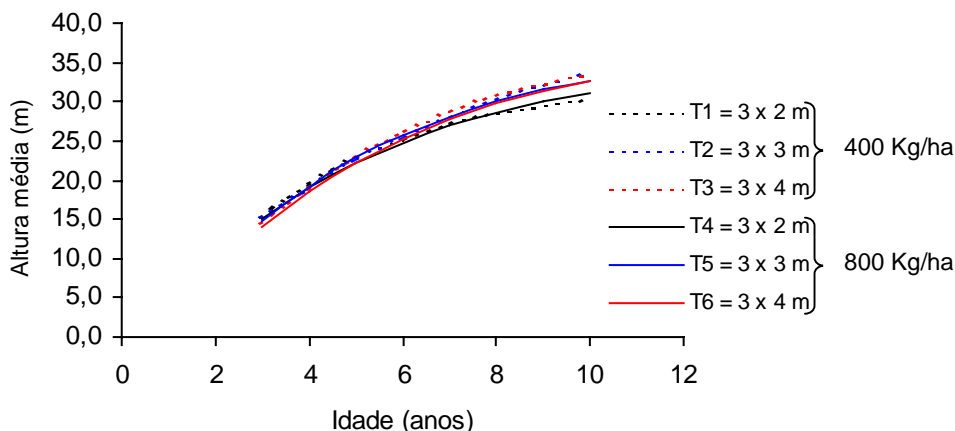


FIGURA 2 -Valores estimados de altura média em função da idade, ajustados pela função de Backman, para os tratamentos estudados.

Este último resultado vem de encontro ao observado por ASSIS et al. (1999), que, estudando o comportamento de *E. urophylla* em função de diferentes espaçamentos, encontraram maior altura das árvores aos 49 meses de idade para as árvores plantadas em espaçamentos mais reduzidos (3 x 2 m), concluindo que este fato deve-se à maior competição entre as árvores e a conseqüente busca por luz.

O efeito do fator adubação novamente não se mostrou evidente, havendo apenas uma pequena superioridade do tratamento 4 sobre o tratamento 1 a partir do oitavo ano, e também ligeira superioridade do tratamento 3 sobre o tratamento 6, ao longo de todo o período observado. Os tratamentos 2 e 5 apresentaram sobreposição durante quase todo o período observado, havendo uma pequena diferenciação a partir dos oito anos de idade.

Assim como para a variável DAP, também houve um achatamento mais precoce da curva de crescimento para as árvores pertencentes aos tratamentos 1 e 4, devido provavelmente a maior competição entre os indivíduos.

O resultado da análise de covariância, para testar a existência de paralelismo e de níveis semelhantes entre as curvas, mostra que a hipótese de igualdade de inclinação (idade*tratamento) e de níveis (tratamento) das curvas de crescimento em altura média é rejeitada ao nível de 5% de probabilidade de erro, indicando a existência de padrões de crescimento diferenciados entre os tratamentos estudados (Tabela 14).

TABELA 14 - Análise de covariância para testar o paralelismo e diferença entre níveis das curvas de crescimento em altura média dos tratamentos estudados.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob.>F	
Tratamento	5	0,4878	0,0976	12,27	0,0001	
Coeficientes:	ln I	1	96,4736	96,4736	12131,89	0,0001
	ln ² I	1	1,9907	1,9907	250,34	0,0001
Idade*Tratamento	5	0,5594	0,1119	14,07	0,0001	
Erro	1428	11,3556	0,0079			
Total	1440	110,8672				

Sendo: F.V. = fontes de variação; G.L. = graus de liberdade; S.Q. = soma de quadrados; Q.M. = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob>F = nível de probabilidade de erro; I = idade.

Esta tendência é de difícil visualização quando se analisa graficamente a Figura 2. Apenas através de uma análise gráfica com as curvas de mesmo espaçamentos é possível verificar que o crescimento em altura é semelhante para os tratamentos 1 e 4, 2 e 5, 3 e 6, não evidenciando diferenças para o fator fertilização (Figuras 3, 4 e 5, respectivamente), apesar da diferença de nível e o cruzamento entre algumas curvas.

Os tratamentos possíveis de serem agrupados graficamente são novamente os de número 1 e 4 (6 m²), 2 e 5 (9 m²) e 3 e 6 (12 m²), onde os dados referentes a estes tratamentos constituem os grupos A, B e C, respectivamente. Cada grupo foi novamente submetido ao ajuste da função de Backman, obtendo-se assim uma nova equação para descrever o crescimento em altura média de tratamentos com tendências semelhantes de crescimento. A Tabela 15 mostra os coeficientes ajustados por esta função para os grupos A, B e C.

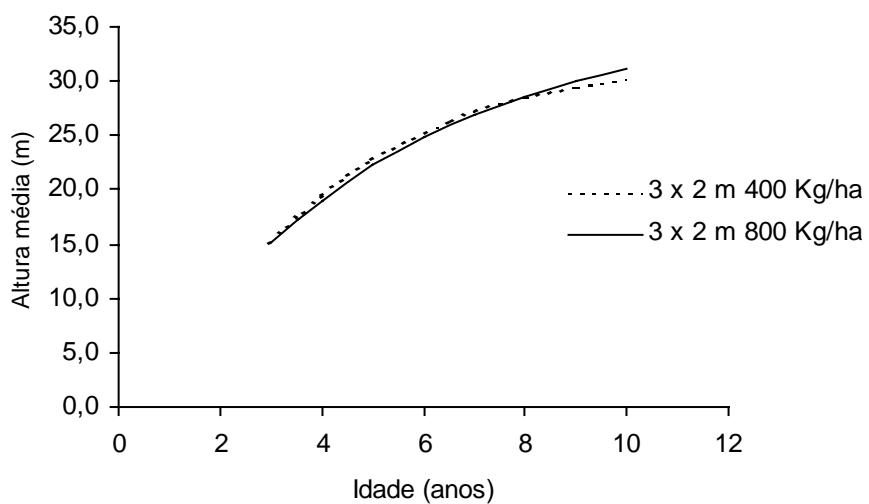


FIGURA 3 - Curvas de crescimento em altura média para os tratamentos 1 (3 x 2 m, 400 Kg/ha) e 4 (3 x 2 m, 800 Kg/ha).

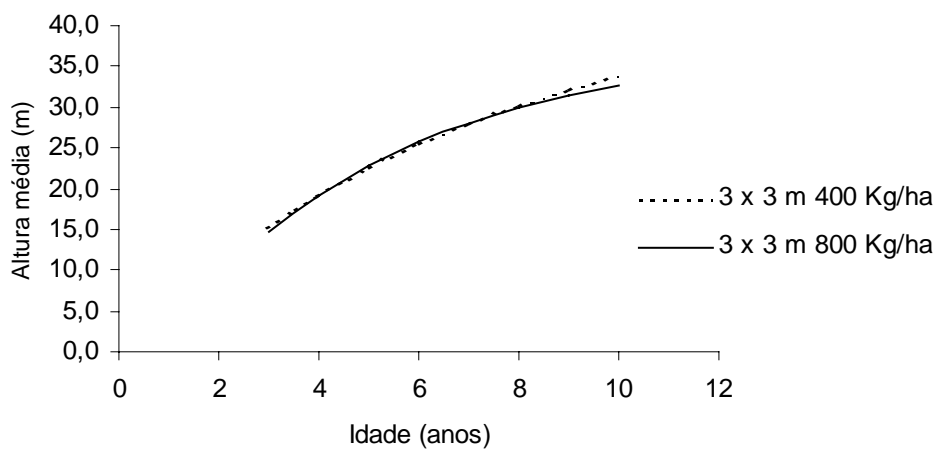


FIGURA 4 - Curvas de crescimento em altura média para os tratamentos 2 (3 x 3 m, 400 Kg/ha) e 5 (3 x 3 m, 800 Kg/ha).

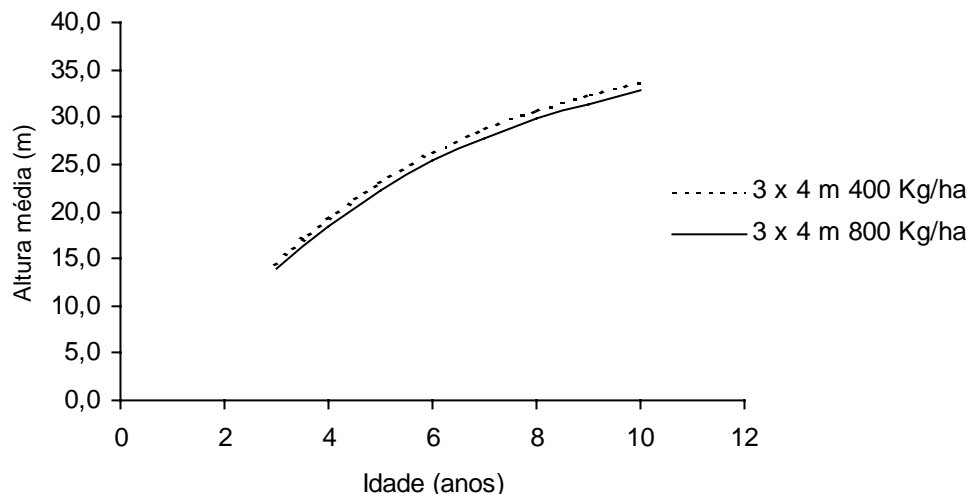


FIGURA 5 - Curvas de crescimento em altura média para os tratamentos 3 (3 x 4 m, 400 Kg/ha) e 6 (3 x 4 m, 800 Kg/ha).

TABELA 15 - Coeficientes e estatísticas da função de Backman, ajustada para descrever o crescimento da altura média, em m, ao longo do tempo (anos), para os grupos A, B e C.

Grupo	COEFICIENTES			ESTATÍSTICAS		
	b_0	b_1	b_2	R^2	S_{yx}	F
A	1,369597	1,529203	-0,276787	0,86	0,0966	2008
B	1,427378	1,405047	-0,218476	0,96	0,0588	4748
C	1,201447	1,640008	-0,278225	0,92	0,0840	1997

Sendo: R^2 = coeficiente de determinação; S_{yx} = erro padrão da estimativa; F = estatística F calculado; b_0 , b_1 , b_2 = coeficientes; A: grupo formado a partir dos dados agrupados dos tratamentos 1 e 4; B: grupo formado a partir dos dados agrupados dos tratamentos 2 e 5; C: grupo formado a partir dos dados agrupados dos tratamentos 3 e 6.

4.1.5.3 Crescimento em volume comercial sem casca por árvore

Para a variável volume comercial sem casca por árvore (vcsc), estimada pela equação de Prodan através dos pares de dados de altura e diâmetro, ajustou-se também a função de Backman, para descrever o comportamento do volume por árvore de cada tratamento ao longo do tempo. A Tabela 16 mostra os coeficientes e estatísticas obtidos pelo ajuste desta função.

TABELA 16 - Coeficientes e estatísticas da função de Backman, ajustada para descrever o crescimento em volume comercial sem casca por árvore (vcsc), em m^3 , ao longo do tempo (anos).

N ^o Trat.	COEFICIENTES			ESTATÍSTICAS		
	b ₀	b ₁	b ₂	R ²	S _{yx}	F
1	-4,776405	2,314732	-0,296423	0,58	0,4560	214
2	-4,525264	2,310669	-0,261508	0,93	0,1640	1407
3	-6,191384	4,355481	-0,816629	0,66	0,4812	168
4	-4,783547	2,394872	-0,331313	0,75	0,3028	489
5	-5,063575	3,001527	-0,470373	0,91	0,1755	1194
6	-5,345033	3,439028	-0,575184	0,87	0,2318	574

Sendo: R² = coeficiente de determinação; S_{yx} = erro padrão da estimativa; F = estatística F calculado; b₀, b₁, b₂ = coeficientes.

As estatísticas apresentadas na Tabela 16 mostram o bom ajuste da função de Backman, sendo satisfatória para descrever o crescimento em volume (vcsc) ao longo do tempo. Os valores de R² variaram entre 0,58 (tratamento 1) e 0,93 (tratamento 2) e os valores de S_{yx} variaram entre 0,1640 (tratamento 2) e 0,4812 (tratamento 3). Os valores de F calculado também confirmam a significância da regressão, com valores variando entre 168 (tratamento 3) e 1407 (tratamento 2). A Figura 6 mostra o comportamento do crescimento em vcsc ao longo dos anos, ajustado pela função de Backman, para os tratamentos estudados.

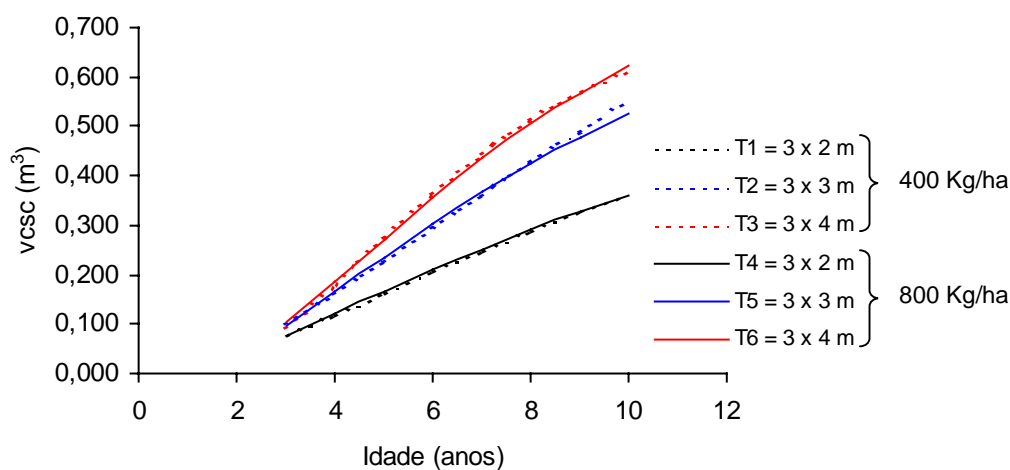


FIGURA 6 - Valores estimados de volume comercial sem casca por árvore (vcsc) em função da idade, ajustados pela função de Backman, para os tratamentos estudados.

Assim como para a variável diâmetro, os tratamentos com maior espaço vital apresentaram os maiores valores médios de vcsc, conforme esperado.

Os tratamentos 1 e 4 apresentaram quase sobreposição das curvas, mostrando não haver diferença de crescimento devido ao fator adubação. O seu crescimento mostrou-se inferior ao restante dos tratamentos, o que já era esperado, visto que as árvores possuíam menos espaço para se desenvolver.

Já para os tratamentos 2 e 5 há uma ligeira superioridade do primeiro a partir do oitavo ano, sendo que até esta idade as curvas eram praticamente sobrepostas. Também nestes tratamentos foi observado um comportamento de crescimento conforme o descrito na literatura, apresentando valores superiores aos tratamentos de menor espaçamento e valores inferiores aos tratamentos com maior espaço de plantio.

Os tratamentos 3 e 6 também apresentaram quase total sobreposição das curvas ao longo do período observado, não havendo diferença entre os tratamentos em função da adubação. Estes tratamentos mostraram-se superiores aos demais, visto que as árvores possuíam maior espaço para se desenvolver. Isto pôde ser observado ao longo de todo o período de crescimento, à exceção do terceiro ano, onde os tratamentos 2 e 5 mostraram-se superiores em vcsc. Aos quatro anos este comportamento já não é mais observado.

O resultado da análise de covariância, para testar a existência de paralelismo e de níveis semelhantes entre as curvas, mostra que a hipótese de igualdade de inclinação (idade*tratamento) e de níveis (tratamento) das curvas de crescimento em vcsc é rejeitada ao nível de 5% de probabilidade de erro, indicando padrões de crescimento diferenciados entre os tratamentos estudados (Tabela 17).

Esta tendência também pode ser verificada graficamente através da Figura 6, que mostra a possibilidade de agrupamento de tratamentos com mesma tendência de crescimento em vcsc. É possível verificar que o crescimento em vcsc é semelhante para os tratamentos que constituem o mesmo espaçamento, a partir do terceiro ano de plantio, não evidenciando

diferenças para o fator fertilização, apesar de ocorrer o cruzamento entre curvas com mesma tendência de crescimento. Os tratamentos possíveis de serem agrupados graficamente são os de número 1 e 4 (6 m²), 2 e 5 (9 m²), 3 e 6 (12 m²).

TABELA 17 - Análise de covariância para testar o paralelismo e diferença entre níveis das curvas de crescimento em volume comercial sem casca por árvore (vcsc) dos tratamentos estudados.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob.>F
Tratamento	5	64,8726	12,9745	106,23	0,0001
Coeficientes:	ln I	454,2647	454,2647	3719,27	0,0001
	ln ² I	5,2269	5,2269	42,79	0,0001
Idade*Tratamento	5	1,8237	0,3647	2,99	0,0109
Erro	1428	174,4132	0,1221		
Total	1440	700,6012			

Sendo: F.V. = fontes de variação; G.L. = graus de liberdade; S.Q. = soma de quadrados; Q.M. = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob>F = nível de probabilidade de erro; I = idade.

Os dados referentes a estes tratamentos foram agrupados, de forma a constituir os grupos A, B e C, respectivamente para as áreas de plantio de 6, 9 e 12 m². Cada grupo foi novamente submetido ao ajuste da função de Backman, obtendo-se assim uma nova equação para descrever o crescimento em vcsc de tratamentos com tendências semelhantes de crescimento. A Tabela 18 mostra os coeficientes ajustados por esta função para os grupos A, B e C.

TABELA 18 - Coeficientes e estatísticas da função de Backman, ajustada para descrever o crescimento em volume comercial sem casca por árvore (vcsc) ao longo do tempo, para os grupos A, B e C.

N ^o Trat.	COEFICIENTES			ESTATÍSTICAS		
	b ₀	b ₁	b ₂	R ²	S _{yx}	F
A	-4,781620	2,356903	-0,314487	0,65	0,3834	608
B	-4,794419	2,656098	-0,365940	0,92	0,1701	2579
C	-5,451065	3,554039	-0,605498	0,77	0,3405	564

Sendo: R² = coeficiente de determinação; S_{yx} = erro padrão da estimativa; F = estatística F calculado; b₀, b₁, b₂ = coeficientes; A: grupo formado a partir dos dados agrupados dos tratamentos 1 e 4; B: grupo formado a partir dos dados agrupados dos tratamentos 2 e 5; C: grupo formado a partir dos dados agrupados dos tratamentos 3 e 6.

4.1.5.4 Crescimento em volume comercial sem casca por hectare

O crescimento médio em volume comercial sem casca por hectare pode ser observado na Figura 7.

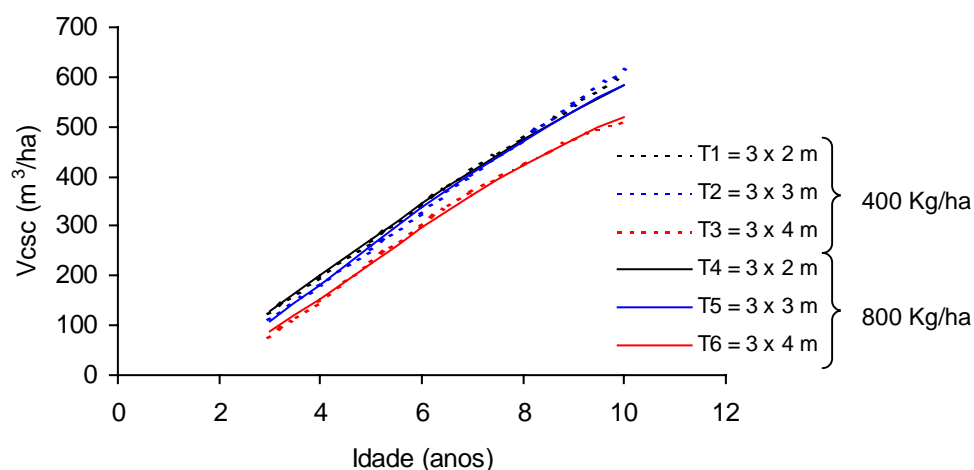


FIGURA 7 - Valores médios de volume comercial sem casca por hectare (V/ha) em função da idade, para os tratamentos estudados.

Através destas curvas de crescimento é possível verificar que o fator adubação não apresentou efeito significativo sobre a produção em V/ha , pois há sobreposição das curvas que constituem o mesmo espaçamento, apesar da pequena superioridade dos tratamentos 1 e 2 sobre os tratamentos 4 e 5.

A Figura 7 também permite observar que há menor produção em V/ha para os tratamentos que constituem o espaçamento 3 x 4 m (3 e 6), ao longo do tempo. A diferença em relação aos menores espaçamentos torna-se mais acentuada a partir do sexto ano. Entre os tratamentos 1, 4, 2 e 5, a produção em V/ha praticamente não diferiu ao longo dos anos. Pode-se observar, entretanto, que os tratamentos 2 e 5, apesar de apresentarem um V/ha inicial inferior, atingem maiores valores a partir do sétimo ano.

4.2 Análise das propriedades da madeira

4.2.1 Densidade básica

Os valores médios de DAP, h e altura comercial (hc) das árvores coletadas nos 6 tratamentos encontram-se resumidos na Tabela 19.

TABELA 19 - Valores médios e desvio-padrão (σ) de DAP, h e hc das árvores coletadas nos tratamentos avaliados, aos 126 meses de idade.

Variável	Tratamentos					
	1	2	3	4	5	6
DAP (cm)	22,5	22,9	25,4	19,2	22,7	25,2
σ (cm)	1,8	0,9	1,8	1,6	1,6	2,1
h (m)	34,2	36,4	38,1	33,1	35,6	36,6
σ (m)	1,3	0,4	0,9	1,5	0,7	2,0
hc (m)	29,8	32,3	34,0	28,8	31,7	32,1
σ (m)	1,5	0,5	1,1	1,5	1,0	1,5

Sendó: DAP = diâmetro à altura do peito; h = altura total; hc = altura comercial.

Como é possível verificar através da Tabela 19, a variação dos dados coletados é menor que aquela verificada para os dados de inventário (Tabela 3). Isto é devido ao fato de serem coletadas apenas árvores de DAP médio, o que diminuiu a amplitude de variação.

Nestas árvores também é visível um ligeiro acréscimo de DAP com o aumento do espaçamento, sendo que o mesmo não ocorre em relação ao aumento da dose de adubo.

Os valores médios de densidade básica para cada tratamento encontram-se na Tabela 20.

É interessante observar as tendências de comportamento da densidade em função dos níveis de adubação e do espaço vital (Tabela 20). Pode-se verificar que há um acréscimo gradual na densidade com o aumento do espaço vital, além de um aumento significativo em função das doses de adubo. A Figura 8 mostra de forma mais clara este comportamento.

TABELA 20 - Valores médios de densidade básica da madeira para os tratamentos estudados, aos 126 meses de idade.

Tratamento	Densidade Básica (g/cm ³)
1	0,404
2	0,407
3	0,420
4	0,414
5	0,418
6	0,436

A densidade básica da madeira aumentou em até 4% do menor para o maior espaço vital (12 m²) para a dosagem de 400 Kg/ha de adubo, e até 5% para 800 Kg/ha. Entre as diferentes doses de adubo, para um mesmo espaçamento, a densidade aumentou em 2% (6 m²), 3% (9 m²) e 4% (12 m²). A maior diferença observada foi entre o tratamento 1 (6 m² e 400 Kg/ha de adubo) e o tratamento 6 (12 m² e 800 Kg/ha de adubo), que aumentou em cerca de 7%.

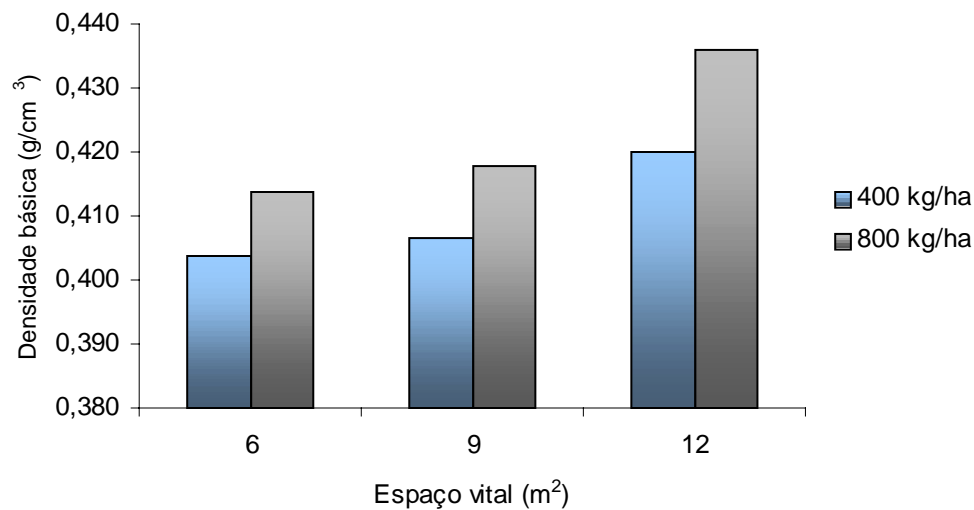


FIGURA 8 - Densidade básica média em função do espaço vital e das doses de adubação.

Os dados de densidade básica em função da adubação e do espaço vital foram submetidos a análise de variância (Anexo V) e as diferenças entre as médias para os dois fatores foi altamente significativa. O valor de

$F_{\text{calc.}}=32,43$ para o fator adubação foi superior ao valor de $F_{\text{tab.}}=4,02$. Também o valor de $F_{\text{calc.}}=30,20$ para o fator espaçamento foi superior ao valor de $F_{\text{tab.}}=3,17$. A interação entre os fatores não se mostrou significativa, apresentando $F_{\text{calc.}}=0,67$, inferior ao $F_{\text{tab.}}=3,17$. A Tabela 21 mostra o teste de médias (teste T - LSD - Least Significant Difference) para a variável densidade básica em função da adubação e do espaço vital.

Na Tabela 21 pode-se observar um aumento significativo da densidade básica entre os dois níveis de adubação, com médias de $0,422 \text{ g/cm}^3$ para a maior dose (800 Kg/ha) e $0,410 \text{ g/cm}^3$ para a menor dose (400 kg/ha). Embora tenha-se verificado diferenças significativas da densidade básica, ZOBEL (1992) diz que o efeito da fertilização de folhosas (principalmente para as espécies com poros difusos, como os eucaliptos) gera resultados conflitantes sobre a qualidade da madeira, apesar desta prática ser mais comum para este grupo de plantas do que para as coníferas.

TABELA 21 - Teste de médias (LSD) para a variável densidade básica (db) em função da adubação e do espaço vital.

Adubação (Kg/ha)	db (g/cm ³)	LSD*	Espaço vital (m ²)	db (g/cm ³)	LSD*
800	0,422	A	12	0,428	A
400	0,410	B	9	0,412	B
			6	0,409	B

Sendo: *Médias seguidas por letras iguais não diferem significativamente entre si; LSD = Least Significant Difference.

JACOB & BALLONI (1978) e BALLONI (1978) atribuem estas contradições a alta variabilidade genética dentro de uma mesma espécie estudada, além das diferentes metodologias utilizadas na determinação do parâmetro em estudo. A necessidade de homogeneização do povoamento também já foi verificada por BRASIL & FERREIRA (1971) e MELLO et al. (1976), entre outros. É possível que a alta variação entre os indivíduos de um mesmo povoamento originado de sementes possa mascarar o efeito da adubação sobre a qualidade da madeira. A utilização de um único genoma pode diminuir a amplitude de variação entre as árvores e permitir que somente o efeito das variáveis do ambiente seja determinante.

Quanto ao efeito do espaçamento, a Tabela 21 mostra também uma influência significativa sobre a densidade básica da madeira. O maior espaço vital (12 m²) proporcionou árvores com maior densidade básica (0,428 g/cm³), diferindo significativamente dos menores espaços vitais (9 e 6 m²), com médias de 0,412 e 0,409 g/cm³. As densidades básicas dos dois menores espaçamentos não diferem significativamente entre si.

FERREIRA (1968) e SOUZA et al. (1979) comentam o aumento da densidade básica em árvores mais vigorosas. É possível que este aumento seja decorrente da maior espessura das camadas de madeira formadas recentemente nas árvores pertencentes aos maiores espaçamentos, conforme sugerido por ODA et al. (1990). Devido à competição, após uma determinada idade, as árvores pertencentes aos menores espaçamentos têm menor concentração de madeira adulta, ocasionando menores densidades em relação às árvores pertencentes aos maiores espaçamentos.

Os resultados obtidos não coincidem com os obtidos por BRASIL & FERREIRA (1971) e VITAL & DELLA LUCIA (1987), que afirmaram que a densidade básica não é afetada pelo espaçamento, e GARCIA et al. (1991), que encontraram uma diminuição da densidade com o aumento do espaçamento.

Esta divergência de resultados pode ser decorrente de diversos fatores. Uma delas é a alta variabilidade genética dos povoamentos originados de sementes, conforme comentado por FERREIRA (1968) e MELLO et al. (1976), entre outros, que pode ocasionar erros não perceptíveis e mascarar a diferença entre os tratamentos estudados. Neste sentido, ELLIOTT (1970) comenta ainda que podem haver diferenças entre os padrões de amostragem adotados por cada pesquisador, além dessa amostragem ter sido realizada em distintas idades, ocasionando resultados discordantes devido à provável associação da idade com o grau de competição entre árvores e a densidade básica.

Considerando a possibilidade de se utilizar o fator espaçamento como variável contínua (quantitativa), a tendência de aumento da densidade básica com o aumento do espaço vital e com a dose de adubo foi confirmada pelo ajuste de um modelo matemático, obtido através do

procedimento Stepwise de modelagem de regressão. A Tabela 22 mostra o modelo, os coeficientes e as estatísticas obtidas.

TABELA 22 - Modelo de regressão selecionado pelo procedimento Stepwise para descrever a densidade básica (db), em g/cm^3 , em função do espaço vital (s), em m^2 , e da dose de adubação (a), em Kg/ha .

Passo	Modelo	Coeficientes	Estatísticas			
			F'	Prob>F	$R^2_{aj.}$	S_{yx}
1	$db = b_0 + b_1 \cdot s^2 a$	$b_0=0,39992050$ $b_1=0,00000031$	88	0,0001	0,61	0,0084

Sendo: F' = Valor de F calculado para a variável independente; Prob>F = nível de probabilidade de erro; $R^2_{aj.}$ = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão da estimativa y.

Outros modelos não foram selecionados devido ao nível de probabilidade de erro obtido ser maior do que o determinado (5%).

A Figura 9 mostra os dados observados para os diferentes espaços vitais e doses de adubação e o ajuste do modelo selecionado para descrever o comportamento da densidade básica frente a estas variáveis.

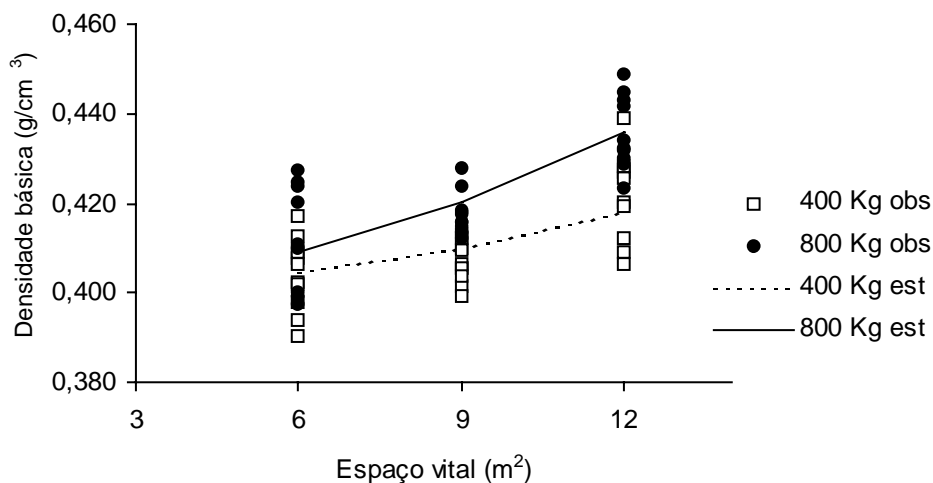


FIGURA 9 - Dados observados e ajuste do modelo selecionado para descrever a variação da densidade básica em função do espaço vital e das doses de adubação.

O modelo obtido permite descrever com boa precisão a variação da densidade básica com a variação dos níveis de adubação e do espaço vital,

apresentando $R^2_{aj.}$ igual a 0,61 e S_{yx} igual a 0,0084 g/cm³, valor de $F_{calc.}$ igual a 88, altamente significativo para a variável selecionada, além da análise gráfica dos resíduos não mostrar tendências do modelo de regressão (Apêndice E).

4.2.1.1 Relação da densidade básica com variáveis dendrométricas

A densidade básica das árvores também foi relacionada com variáveis dendrométricas de fácil obtenção à campo (DAP e h), através do procedimento Stepwise de regressão. A Tabela 23 mostra o modelo selecionado, os coeficientes e as estatísticas obtidas.

TABELA 23 -Modelo de regressão selecionado pelo procedimento Stepwise para descrever a densidade básica (db), em g/cm³, em função de variáveis dendrométricas DAP, em cm, e h, em m.

Passo	Modelo	Coeficientes	Estatísticas			
			F'	Prob>F	$R^2_{aj.}$	S_{yx}
1	$db = b_0 + b_1.DAP^3$	$b_0=0,39249297$ $b_1=0,00000189$	28	0,0001	0,33	0,0110

Sendo: F' = Valor de F calculado para a variável independente; Prob>F = nível de probabilidade de erro; $R^2_{aj.}$ = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão da estimativa y.

Outros modelos não foram selecionados devido ao nível de probabilidade de erro obtido para as variáveis independentes ter sido maior do que o determinado para este estudo (5% de probabilidade de erro).

Como pode ser observado na Tabela 23, a variável altura não foi selecionada para descrever a variação da densidade básica média, evidenciando não haver relação significativa entre a altura média e a densidade básica média das árvores.

O modelo obtido apresentou $R^2_{aj.}$ igual a 0,33 e S_{yx} igual a 0,0110 g/cm³, sendo que a análise gráfica dos resíduos não mostrou tendências do modelo de regressão (Apêndice F). A Figura 10 mostra os dados observados de densidade básica para os valores correspondentes de DAP e o ajuste do modelo selecionado para descrever o comportamento da densidade básica em função desta variável.

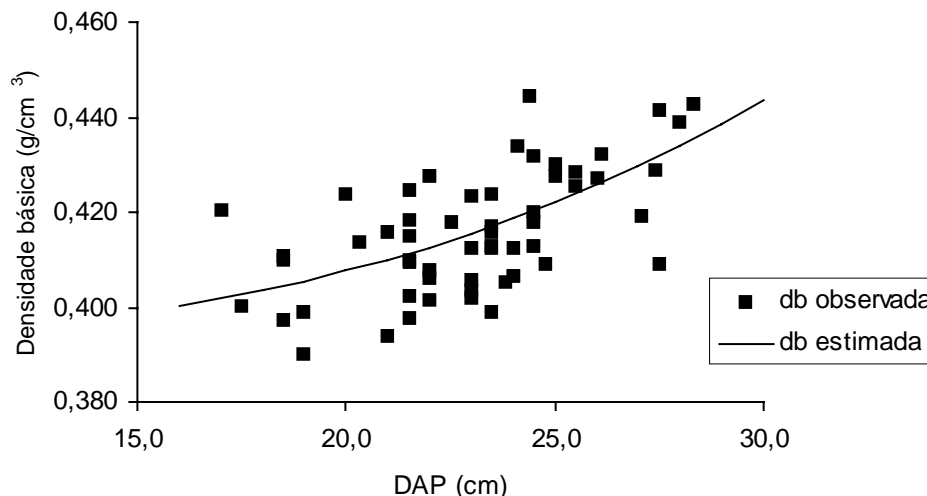


FIGURA 10 - Dados observados e ajuste do modelo selecionado para descrever a variação da densidade básica em função do diâmetro à altura do peito (DAP).

Esta mesma tendência foi observada por FERREIRA (1968), para *Eucalyptus saligna*, onde as árvores mais vigorosas apresentaram valores de densidade básica maiores quando comparadas com árvores menos vigorosas. O mesmo fato foi observado por FERREIRA & KAGEYAMA (1978), que concluíram que as árvores mais vigorosas de populações híbridas de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna* apresentavam maior densidade. Também SOUZA et al. (1979), afirmaram que as árvores menos vigorosas, com DAP inferior a 10 cm, apresentam densidade básica média significativamente inferior à das árvores com diâmetro superior a 15 cm, para *Eucalyptus microcorys*.

Porém SCHÖNAU (1974), concluiu que a densidade básica diminuiu com o aumento do DAP, encontrando baixa determinação ($r^2 = 0,29$), o que foi atribuído à alta variabilidade das amostras coletadas. E, para MIGLIORINI (1986), em um mesmo nível de produtividade, não houve correlação significativa entre a densidade básica e as características dendrométricas da árvore.

A densidade básica também foi relacionada com a variável dendrométrica volume comercial sem casca por árvore (vcsc), através do

procedimento Stepwise de regressão. A Tabela 24 mostra o modelo selecionado, os coeficientes e as estatísticas obtidas.

TABELA 24 - Modelo de regressão selecionado pelo procedimento Stepwise para descrever a densidade básica (db), em g/cm^3 , em função de volume comercial sem casca por árvore (vcsc), em m^3 .

Passo	Modelo	Coeficientes	Estatísticas			
			F'	Prob>F	$R^2_{aj.}$	S_{yx}
1	$db = b_0 + b_1 \cdot vcsc^3$	$b_0=0,40516485$ $b_1=0,04591384$	23	0,0001	0,29	0,0110

Sendo: F' = Valor de F calculado para a variável independente; Prob>F = nível de probabilidade de erro; $R^2_{aj.}$ = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão da estimativa y.

Não foram selecionadas outras variáveis devido ao nível de probabilidade de erro obtido ser maior do que o determinado (5%).

O modelo obtido apresentou $R^2_{aj.}$ igual a 0,29 e S_{yx} igual a $0,0110 \text{ m}^3$, sendo que a análise gráfica dos resíduos não mostrou tendências do modelo de regressão (Apêndice G).

A Figura 11 mostra os dados observados de densidade básica para os valores correspondentes de vcsc e o ajuste do modelo selecionado para descrever o comportamento da densidade básica em função desta variável.

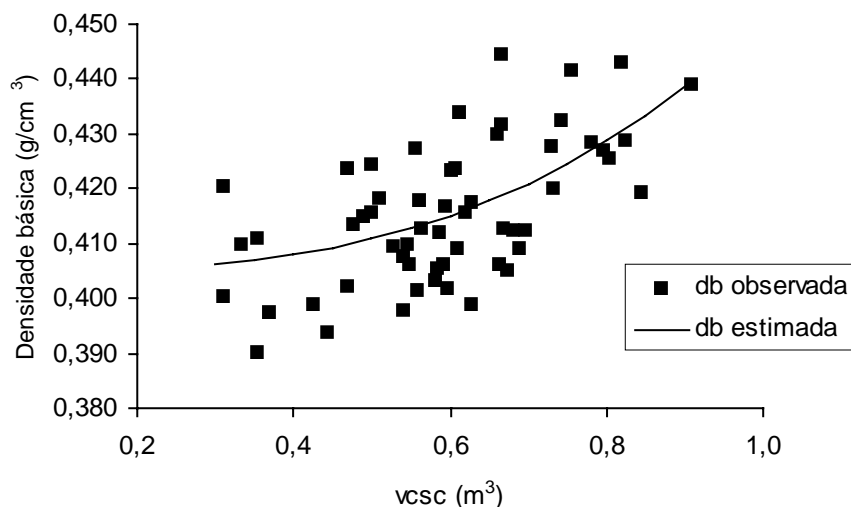


FIGURA 11 - Dados observados e ajuste do modelo selecionado para descrever a variação da densidade básica em função do volume comercial sem casca por árvore (vcsc).

Apesar de estatisticamente válidos, os valores de coeficiente de determinação e erro padrão da estimativa dos modelos selecionados para descrever a variação da densidade básica em função das variáveis DAP, h e vcsc, indicam que esta variação não pode ser explicada unicamente por estes fatores. Estes modelos têm utilidade apenas para uma noção do comportamento da densidade básica com a variação destas características.

4.2.2 Resistência à flexão estática

4.2.2.1 Módulo de Elasticidade

Os resultados médios de módulo de elasticidade (MOE) obtidos nos testes, para a primeira e segunda toras das árvores-amostra dos tratamentos estudados, encontram-se resumidos na Tabela 25. Observa-se a tendência da segunda tora apresentar MOE superior à primeira tora, com exceção dos tratamentos 2 e 4, sendo este último com uma diferença praticamente insignificante.

TABELA 25 - Médias de módulo de elasticidade (MOE) para a primeira e segunda toras dos tratamentos estudados, aos 126 meses de idade.

Tratamento	MOE (Kgf/cm ²)	
	1ª tora	2ª tora
1	86.343	92.281
2	93.130	91.880
3	91.348	97.874
4	99.827	99.188
5	94.963	100.751
6	100.877	108.928

A análise de variância foi utilizada para verificar se as diferenças observadas entre as duas posições (toras) das árvores-amostra apresentavam-se significativas. Os resultados encontrados (Anexo VI) mostram que a posição da tora na árvore influencia significativamente os valores de MOE, visto que o valor de $F_{\text{calc.}}=10,46$ foi superior ao valor de

$F_{\text{tab.}}=3,92$. O teste de médias (teste T – LSD) para os fatores adubação, espaçamento e posição da tora são apresentados na Tabela 26.

A análise estatística dos dados, através de análise de variância (Anexo VI), mostrou que o efeito dos fatores adubação e espaçamento foram significativos, apresentando valores de $F_{\text{calc.}}$ iguais a 43,98 e 6,57, maiores que os valores de $F_{\text{tab.}}$ de 3,92 e 3,07, respectivamente. A interação entre os fatores não foi significativa ao nível de significância determinado ($F_{\text{calc.}}=1,70$ e $F_{\text{tab.}}= 3,07$).

TABELA 26 -Teste de médias para os fatores adubação, espaçamento e posição da tora, para a variável módulo de elasticidade (MOE).

Fator	MOE (Kgf/cm ²)	LSD*
Adubação (Kg/ha)		
800	100.798	A
400	92.199	B
Espaçamento (m²)		
12	99.736	A
9	95.193	B
6	94.470	B
Posição da tora		
2 ^a	98.693	A
1 ^a	94.498	B

Sendo: *Médias seguidas por letras iguais não diferem significativamente entre si; LSD = Least Significant Difference; MOE = módulo de elasticidade.

O teste de médias (Tabela 26) mostra que o aumento da dose de adubo implica em um aumento significativo do MOE, passando de 92.199 Kgf/cm² na menor dose (400 Kg/ha) para 100.798 Kgf/cm² na maior dose aplicada (800 Kg/ha). O mesmo resultado foi encontrado por Gray & Kyanka apud VITAL (1990), em testes de flexão estática para árvores de *Pinus resinosa* adubadas com potássio.

O maior espaçamento (12 m²) mostrou valor de MOE (99.736 Kgf/cm²) significativamente superior aos valores de 95.193 Kgf/cm² e 94.470 Kgf/cm²,

dos outros espaçamentos estudados (9 e 6 m², respectivamente). Estes últimos não diferiram significativamente entre si.

Os resultados encontrados sobre o efeito dos fatores adubação e espaçamento nas propriedades mecânicas da madeira eram esperados, visto que tiveram influência significativa sobre a densidade básica da madeira.

Em relação às diferenças entre as posições das toras da árvores-amostra, a tendência observada na Tabela 25 mostrou-se significativa ao nível de confiabilidade determinado. A segunda tora apresentou MOE médio (98.693 Kgf/cm²) significativamente superior à primeira (94.498 Kgf/cm²). Resultado semelhante foi encontrado por SCHILLING (1996), para *Pinus elliottii*, que mostra tendências de aumento do MOE da primeira para a segunda tora.

Considerando que as diferenças de MOE para os fatores estudados (adubação e espaçamento) foram significativas, procedeu-se a modelagem de regressão através do procedimento Stepwise. Os coeficientes e as estatísticas do modelo selecionado são apresentadas na Tabela 27.

Não houve mais variáveis que pudessem ser incluídas nos modelos para explicar a variação do MOE com o efeito do espaçamento e da adubação, para o nível de tolerância estabelecido.

TABELA 27 - Modelo de regressão obtido pelo procedimento Stepwise para descrever o módulo de elasticidade (MOE), em Kgf/cm², em função do espaço vital (s), em m², e das doses de adubação (a), em Kg/ha.

Passo	Modelo	Coeficientes	Estatísticas			
			F'	Prob>F	R ² _{aj.}	S _{yx}
1	MOE = b ₀ + b ₁ .a ² s	b ₀ =89605,5679 b ₁ =0,00190772	51	0,0001	0,10	14124

Sendo: F' = Valor de F calculado para a variável independente; Prob>F = nível de probabilidade de erro; R²_{aj.} = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão da estimativa y.

O modelo de regressão construído pelo procedimento Stepwise (Tabela 27) apresentou um valor de R²_{aj.} muito baixo (0,10) e um alto erro padrão (14.124 Kgf/cm²), apesar da estatística F mostrar que o coeficiente selecionado é significativo para o modelo. Apesar de selecionado pelo

procedimento de modelagem de regressão, o modelo apresenta precisão muito baixa para descrever o comportamento do MOE somente em função das variáveis adubação e espaço vital, o que era esperado.

4.2.2.2 Módulo de Ruptura

Os resultados médios de módulo de ruptura (MOR) obtidos para a primeira e segunda toras das árvores-amostra dos tratamentos estudados, encontram-se resumidos na Tabela 28.

TABELA 28 - Médias de módulo de ruptura (MOR) para a primeira e segunda toras dos tratamentos estudados.

Tratamento	MOR (Kgf/cm ²)	
	1ª tora	2ª tora
1	620,66	639,62
2	730,73	662,49
3	765,93	710,77
4	737,06	717,80
5	740,51	708,18
6	820,94	785,66

Pode-se observar uma tendência de diminuição do MOR da primeira para a segunda tora (Tabela 28), com exceção do tratamento 1.

As diferenças observadas entre as duas posições (toras) das árvores-amostra também foram submetidas análise de variância. Os resultados encontrados (Anexo VII), mostram que a posição da tora na árvore influencia significativamente os valores de MOR, visto que o valor de $F_{\text{calc.}}=11,49$ foi superior ao valor de $F_{\text{tab.}}=3,92$.

A análise estatística dos dados, através de análise de variância (Anexo VII), mostrou que o efeito dos fatores adubação e espaçamento foi significativo, apresentando valores de $F_{\text{calc.}}$ iguais a 43,70 e 33,02, maiores que os valores de $F_{\text{tab.}}$ de 3,92 e 3,07, respectivamente. A interação entre os fatores também foi significativa ao nível de probabilidade de confiança determinado ($F_{\text{calc.}}=4,82$ e $F_{\text{tab.}}=3,07$). Este resultado mostra que os fatores adubação e espaçamento interagem de modo a se obter um benefício

suplementar para a variável MOR quando um fator é utilizado na presença do outro. A Tabela 29 mostra os valores médios de cada tratamento e o efeito da interação entre os fatores adubação e espaçamento.

TABELA 29 -Valores médios de módulo de ruptura (MOR), em Kgf/cm², para os fatores adubação e espaçamento.

Tratamento		Espaço vital (m ²)		
		6	9	12
Adubação (Kg/ha)	400	630,51	699,98	738,70
	800	727,56	724,56	803,30

A análise da Tabela 29 permite afirmar que para cada espaçamento a dose de adubo aplicada é significativa. Analisando o efeito de cada espaçamento dentro das doses de adubo, é possível verificar que também existem diferenças significativas entre espaçamentos, mas para a dosagem de 800 Kg/ha houve um efeito adicional (interação) quando da utilização do maior espaçamento (12 m²).

O teste de médias (Tabela 30) mostra que o aumento da dose de adubo, assim como para o MOE, implica em um aumento significativo do MOR, passando de 689,89 Kgf/cm² na menor dose (400 Kg/ha) para 752,46 Kgf/cm² na maior dose aplicada (800 Kg/ha).

Todos os valores de MOR entre os diferentes espaçamentos estudados diferiram significativamente entre si. O maior espaçamento (12 m²) apresentou valor de MOR de 771,00 Kgf/cm², sendo que os outros espaçamentos estudados (9 e 6 m²) apresentaram valores de 712,27 e 679,03 Kgf/cm², respectivamente. Assim como para o MOE, os resultados encontrados sobre o efeito dos fatores adubação e espaçamento nas propriedades mecânicas da madeira eram esperados, considerando que tiveram influência significativa sobre a densidade básica da madeira. Porém, ROCHA et al. (1988) ressaltaram que não se pode afirmar que quanto mais densa a madeira, maiores as suas propriedades mecânicas.

TABELA 30 - Teste de médias para os fatores adubação, espaçamento e posição da tora, para a variável módulo de ruptura (MOR).

Fator	MOR (Kgf/cm ²)	LSD*
Adubação (Kg/ha)		
800	752,46	A
400	689,89	B
Espaçamento (m²)		
12	771,00	A
9	712,27	B
6	679,03	C
Posição da tora		
1 ^a	737,45	A
2 ^a	705,37	B

Sendo: *Médias seguidas por letras iguais não diferem significativamente entre si; LSD = Least Significant Difference; MOR = módulo de ruptura.

Em relação às diferenças entre as posições das toras da árvores-amostra, a tendência observada na Tabela 28 mostrou-se significativa ao nível de significância determinado. A primeira tora apresentou MOR médio (737,45 Kgf/cm²) significativamente superior à segunda tora (705,37 Kgf/cm²). Resultado semelhante foi encontrado por SCHILLING (1996), para *Pinus elliottii*, que mostra tendências de diminuição do MOR da primeira para a segunda tora.

Considerando que as diferenças de MOR para os fatores estudados (adubação e espaçamento) foram significativas, procedeu-se a modelagem de regressão através do procedimento Stepwise. Os coeficientes e as estatísticas do modelo selecionado são apresentadas na Tabela 31.

Não houve mais variáveis que pudessem ser incluídas nos modelos para explicar a variação do MOR com o efeito do espaçamento e da adubação, para o nível de tolerância estabelecido (95% de probabilidade de confiança).

Os modelos de regressão obtidos pelo procedimento Stepwise (Tabela 31) apresentaram valores de R²_{aj.} variando de 0,16 a 0,20, e erro padrão da estimativa, entre 103 e 105 Kgf/cm². Os modelos obtidos nos passos 2, 4 e 5

apresentam coeficientes do modelo de regressão com significância abaixo da especificada por este estudo. Apesar de selecionados pelo procedimento de modelagem de regressão, os modelos 1 e 3 apresentam baixa precisão para descrever o comportamento do MOR somente em função das variáveis adubação e espaço vital.

TABELA 31 - Modelos de regressão obtidos pelo procedimento Stepwise para descrever o módulo de ruptura (MOR), em Kgf/cm^2 , em função do espaço vital (s), em m^2 , e das doses de adubação (a), em Kg/ha .

Passo	Modelo	Coeficientes	Estatísticas			
			F'	Prob>F	$R^2_{aj.}$	S_{yx}
1	$\text{MOR} = b_0 + b_1 \cdot s^2 a$	$b_0=648,6226$ $b_1=0,001381$	88,47	0,0001	0,16	105
2	$\text{MOR} = b_0 + b_1 \cdot a^2 + b_2 \cdot s^2 a$	$b_0=640,3796$ $b_1=0,000041$ $b_2=0,001227$	2,88 ^{ns} 50,64	0,0903 0,0001	0,16	105
3	$\text{MOR} = b_0 + b_1 \cdot a^2 + b_2 \cdot s^2 a + b_3 \cdot a^2 s$	$b_0=573,9250$ $b_1=0,000480$ $b_2=0,004064$ $b_3=-0,000072$	18,69 31,78 16,40	0,0001 0,0001 0,0001	0,19	103
4	$\text{MOR} = b_0 + b_1 \cdot a^2 + b_2 \cdot s^3 + b_3 \cdot s^2 a + b_4 \cdot a^2 s$	$b_0=529,4470$ $b_1=0,000958$ $b_2=-0,159151$ $b_3=0,012108$ $b_4=-0,000189$	8,56 2,40 ^{ns} 5,34 5,89	0,0036 0,1218 0,0213 0,0156	0,19	103
5	$\text{MOR} = b_0 + b_1 \cdot a^2 + b_2 \cdot \frac{1}{s} + b_3 \cdot s^3 + b_4 \cdot s^2 a + b_5 \cdot a^2 s$	$b_0=616,0683$ $b_1=0,001207$ $b_2=-675,4498$ $b_3=-0,256114$ $b_4=0,015624$ $b_5=-0,000246$	10,98 2,41 ^{ns} 4,55 7,52 8,17	0,0010 0,1211 0,0334 0,0064 0,0045	0,20	103

Sendo: F' = Valor de F calculado para a variável independente; Prob>F = nível de probabilidade de erro; $R^2_{aj.}$ = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão da estimativa y.

4.2.2.3 Relação entre as propriedades mecânicas e a densidade da madeira

O modelo matemático $Y=bD^n$, que é geralmente considerado o mais adequado para o ajuste da propriedades da madeira em função da densidade (DELLA LUCIA & VITAL, 1980), não apresentou estatísticas significativas, tanto para MOE quanto para MOR, em função da densidade básica e da densidade básica da madeira à 12% de umidade. O modelo

linear sugerido por BODIG & JAYNE (1982) e US DEPARTMENT OF AGRICULTURE (1987), também não foi significativo ao nível de tolerância especificado.

Na tentativa de descrever a variação do MOE e do MOR em função da densidade, utilizou-se o procedimento Stepwise de modelagem de regressão. Os modelos selecionados pelo procedimento são apresentados na Tabela 32.

TABELA 32 - Modelos de regressão obtidos pelo procedimento Stepwise para descrever MOR e MOE, em Kgf/cm², em função da densidade básica média da árvore (db), e da densidade básica da madeira à 12% de umidade (d), em g/cm³.

Passo	Modelo	Coeficientes	Estatísticas			
			F'	Prob>F	R ² _{aj.}	S _{yx}
1	MOE = b ₀ + b ₁ .d ²	b ₀ =29845,43 b ₁ =347289,16	396	0,0001	0,46	10904
1	MOE = = b ₀ + b ₁ .ln ² db	b ₀ =168874,28 b ₁ =-95872,46	53	0,0001	0,10	14094
1	MOR = = b ₀ + b ₁ .ln d	b ₀ =1612,3556 b ₁ =1072,3011	470	0,0001	0,51	80,6
1	MOR = = b ₀ + b ₁ .ln ² db	b ₀ =1590,8832 b ₁ =-1152,4646	155	0,0001	0,25	99,2
2	MOR = b ₀ + b ₁ .ln db + b ₂ .ln ² db	b ₀ =-5147,5376 b ₁ =-15487,66 b ₂ =-10042,00	4,04 5,15	0,0451 0,0237	0,25	98,9

Sendo: F' = Valor de F calculado para a variável independente; Prob>F = nível de probabilidade de erro; R²_{aj.} = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão da estimativa y; MOE = módulo de elasticidade; MOR = módulo de ruptura.

Não houve mais modelos que pudessem descrever o comportamento das variáveis dependentes (MOE e MOR) em função da densidade básica e da densidade da madeira seca ao ar.

Para descrever o MOE em função da densidade básica à 12% de umidade, o procedimento selecionou um modelo (Tabela 32), de R²_{aj.} igual a 0,46 e S_{yx} igual a 10904 Kgf/cm², apresentando um coeficiente significativo no modelo (F_{calc.}=396). A análise gráfica dos resíduos (Apêndice H) não mostrou tendências do modelo de regressão, havendo apenas uma grande dispersão dos dados, ocasionando a diminuição do coeficiente de determinação e o aumento do erro padrão da estimativa. O mesmo ocorreu para o MOR (Apêndice I), onde apenas um modelo foi selecionado,

apresentando as estatísticas de $R^2_{aj.}$ e S_{yx} iguais a 0,51 e 80,6 Kgf/cm², respectivamente. O coeficiente selecionado apresentou alta significância ($F_{calc.}=470$).

Na Tabela 32 também são apresentados os modelos obtidos através do procedimento Stepwise para descrever o MOE e o MOR em função da densidade básica da madeira. Para a variável dependente MOE, pode-se observar o baixo $R^2_{aj.}$ (0,10) e o alto S_{yx} (14094 Kgf/cm²). Comportamento semelhante foi encontrado por DELLA LUCIA & VITAL (1980), que não encontraram relação estatística válida entre o MOE e a densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis*.

Para o MOR o procedimento selecionou dois modelos de regressão, sendo escolhido aquele obtido no passo 1, pela sua maior simplicidade, apesar das estatísticas obtidas. Este modelo apresentou as estatísticas de $R^2_{aj.}$ e S_{yx} iguais a 0,25 e 99,2 Kgf/cm², respectivamente. Também para o MOR, DELLA LUCIA & VITAL (1980), encontraram um baixo coeficiente de determinação (0,22), apesar de estatisticamente significativo.

Talvez a pequena amplitude de variação das densidades obtidas neste estudo tenha proporcionado a baixa precisão dos modelos, visto que as amostras consistiam apenas de árvores médias, de origem clonal e apresentavam mesma idade.

4.3 Produção de massa seca

Para a variável produção de massa seca (t/ha), a análise de variância (Anexo VIII) mostra que os fatores adubação, espaço vital e interação entre os fatores não são significativos para um nível $\alpha=5\%$ de probabilidade de erro. Os valores de $F_{calc.}$ (4,52; 4,23 e 0,59, respectivamente para adubação, espaço vital e interação entre os fatores) são inferiores aos valores de $F_{tab.}$ (5,99 para adubação e 5,14 para espaço vital e interação entre fatores). A Tabela 33 mostra as médias obtidas para a variável t/ha em função da adubação e do espaço vital.

Os resultados apresentados na Tabela 33 mostram uma tendência de diminuição da produção em t/ha com o aumento da dose de adubo, de

262,88 t/ha (400 Kg/ha) para 248,77 t/ha (800 Kg/ha). Esta tendência entretanto, não é estatisticamente válida, pois não há diferença significativa entre as doses pelo teste F. Apesar do aumento significativo da densidade básica com o aumento da dose de adubação (Tabela 21), este resultado não foi suficiente para promover um aumento da produção em t/ha, visto que a produção de volume comercial sem casca por hectare (V/ha) apresentou valor inferior na maior dosagem de adubo, não sendo porém, estatisticamente diferente daquele encontrado para a menor dosagem (Tabela 9). Portanto, o efeito da fertilização sobre a produção em t/ha não foi significativo ao nível de confiança estabelecido.

TABELA 33 -Médias obtidas para toneladas de madeira por hectare (t/ha) em função dos fatores adubação e espaço vital.

Adubação (Kg/ha)	t/ha	Espaço vital (m ²)	t/ha
400	262,88	6	265,65
800	248,77	9	259,13
		12	242,70

O fator espaço vital também mostrou não ter influência significativa sobre a produção em t/ha, apesar da tendência de diminuição da produção com o aumento do espaço vital. As médias de 265,65 t/ha para a espaço vital de 6 m², 259,13 t/ha para 9 m² e 242,70 t/ha para 12 m², mostram que, apesar da tendência de diminuição, o espaço vital não apresenta influência sobre a produção em t/ha. Este resultado foi também encontrado por RENSICOELHO et al. (1970), onde a produção, expressa pelo peso de madeira seca, não foi afetada pelo espaçamento. Porém, SOUZA (1989) encontrou que a produção em peso e volume é maior no menor espaçamento estudado, porém tende a se igualar a partir de 114 meses. Para VALERI et al. (1997) houve efeito significativo da densidade de plantio na produção de madeira para celulose (em t/ha). A produção máxima foi encontrada para uma densidade de 1342 plantas/ha, obtida pelo ajuste de uma regressão polinomial de terceiro grau ($r^2 = 0,82$). As densidades estudadas foram: 500, 625, 833, 1.250, 1.666, 2.500 e 5.000 plantas por hectare. Os tratamentos

referentes às maiores densidades de plantio foram os que produziram maior quantidade de madeira para energia, entretanto as quantidades de madeira para celulose foram muito baixas nestes tratamentos.

O resultado encontrado é bastante interessante sob o ponto de vista das indústrias de celulose. Certamente é desejável que ao final da rotação se tenham maiores valores de produção de massa seca por unidade de área. No caso deste estudo, como a tendência de diminuição da produção com o aumento do espaço vital não foi significativa, é possível considerar que maiores espaçamentos são mais adequados para esta finalidade, visto que é presumível uma diminuição nos custos de implantação e colheita da floresta, além de uma melhoria na qualidade da madeira produzida, através do aumento das dimensões das árvores, do aumento da densidade básica e conseqüente melhoria das propriedades de resistência da madeira. Além disso, madeiras mais densas apresentam a vantagem de diminuir a área de manuseio e estocagem para as indústrias de celulose (cavacos), aumentando o rendimento em peso de matéria seca no transporte e picadores.

Porém, considerando que em plantios comerciais trabalha-se com extensas áreas de floresta, a diferença de produção de massa entre os distintos espaçamentos pode tornar-se alta. Este fato deve ser levado em consideração quando da determinação do espaçamento de plantio dos povoamentos a serem implantados, considerando também o objetivo a que se destina a floresta.

Além disso, deve-se considerar que neste estudo foram utilizadas apenas árvores de DAP médio na determinação da densidade básica da madeira, com aproximadamente 10 anos de idade. Um estudo mais detalhado certamente seria necessário para inferir com precisão sobre a influência do espaçamento e da adubação sobre a produção de massa seca por hectare, inclusive ao longo dos anos, para determinar a idade onde se atinge maior produção.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusões

Os resultados obtidos neste estudo permitem concluir que:

- a) O fator adubação não mostrou influência estatística significativa sobre as variáveis diâmetro à altura do peito, altura total e volume comercial sem casca por árvore, aos 126 meses de idade.
- b) O espaçamento influenciou significativamente, aos 126 meses de idade, o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura média (h). Para o DAP houve relação direta com os espaçamentos, ou seja, o maior espaçamento proporcionou maior DAP. Para a h, o maior espaço vital (12 m^2) não diferiu do intermediário (9 m^2), sendo que ambos diferiram significativamente do menor (6 m^2). Para o volume comercial sem casca por árvore, houve diferença significativa entre todos os espaçamentos estudados, com superioridade para o maior espaço vital (12 m^2), seguido de 9 e 6 m^2 .
- c) O diâmetro à altura do peito, altura média e volume comercial sem casca por árvore mostraram-se fracamente relacionados com o espaçamento e a adubação, sendo que menos de 50% da variação total é explicada por estes fatores.
- d) O volume comercial sem casca por hectare não foi significativamente afetado pelo espaçamento e pela adubação, não havendo diferença entre as médias dos tratamentos estudados, aos 126 meses de idade.
- e) A função de Backman descreveu com boa precisão o crescimento em diâmetro à altura do peito, altura média e volume comercial sem

casca por árvore do clone ao longo do tempo, para todos os tratamentos.

- f) A análise de covariância detectou, para todas as variáveis estudadas, diferenças de nível e inclinação das curvas de crescimento. A análise gráfica permitiu o agrupamento de curvas com tendências de crescimento semelhantes, sendo formadas novas curvas à partir dos tratamentos 1 e 4, 2 e 5, 3 e 6, para as variáveis diâmetro à altura do peito, altura média e volume comercial sem casca por árvore.
- g) A produção em volume comercial sem casca por hectare foi menor para os tratamentos que constituíam o maior espaço vital (12 m²), sendo que praticamente não diferiu entre os dois menores (6 e 9 m²).
- h) A análise gráfica mostrou que o fator adubação não influenciou o crescimento em diâmetro à altura do peito, altura média, volume comercial sem casca por árvore e volume comercial sem casca por hectare no tempo.
- i) O fator adubação teve influência sobre a variável densidade básica, sendo que a maior dose de adubo (800 Kg/ha) proporcionou um aumento significativo desta característica em relação à menor dose utilizada (400 Kg/ha). Para um mesmo espaçamento, a densidade aumentou em 2% (6 m²), 3% (9 m²) e 4% (12 m²).
- j) O fator espaçamento (espaço vital) influenciou significativamente a densidade básica, sendo que o maior espaço vital (12 m²) esteve associado a um aumento desta característica. Entre os menores espaçamentos (6 e 9 m²), esta diferença não foi estatisticamente válida. A densidade básica da madeira aumentou em até 4% da menor (6 m²) para o maior espaço vital (12 m²) na dosagem de 400 Kg/ha de adubo, e até 5% para 800 Kg/ha. A maior diferença observada foi entre o tratamento 1 (6 m² e 400 Kg/ha de adubo) e o

tratamento 6 (12 m² e 800 Kg/ha de adubo), que aumentou em cerca de 7%.

- k) O modelo matemático $db = 0,39992050 + 0,00000031.s^2a$, obtido pelo procedimento Stepwise de regressão, descreveu de forma satisfatória a variação da densidade básica em função das variáveis espaçamento e adubação.
- l) Os modelos matemáticos obtidos para descrever a densidade básica em função do diâmetro à altura do peito e do volume comercial sem casca por árvore explicaram menos de 30% da variação total dos dados.
- m) Nos estudos de resistência à flexão estática, o módulo de elasticidade foi significativamente influenciado pelo espaçamento, adubação e posição da tora. A maior dose de adubo (800 Kg/ha) e o maior espaço vital (12 m²) proporcionaram os maiores valores médios de módulo de elasticidade, diferindo estatisticamente da menor dose de adubo (400 Kg/ha) e dos menores espaços vitais (6 e 9 m²), que não apresentaram diferença significativa entre si. A segunda tora apresentou módulo de elasticidade, significativamente superior ao da primeira tora.
- n) A variável módulo de ruptura foi significativamente influenciada pelo espaçamento, adubação e posição da tora, havendo uma interação entre os fatores espaçamento e adubação. A maior dose de adubo (800 Kg/ha) e o maior espaço vital (12 m²) proporcionaram os maiores valores médios de módulo de ruptura, diferindo estatisticamente da menor dose de adubo (400 Kg/ha) e dos menores espaços vitais (6 e 9 m²), que diferiram entre si. A interação dos fatores promoveu um efeito adicional nos valores de módulo de ruptura para a maior dose de adubo, quando da utilização do maior espaçamento. A primeira tora apresentou maior módulo de ruptura, significativamente superior ao da segunda tora.

- o) Os modelos matemáticos selecionados pelo procedimento Stepwise para descrever a variação do módulo de elasticidade e do módulo de ruptura em função do espaçamento e da adubação apresentaram baixo $R^2_{aj.}$ e alto S_{yx} .
- p) Os modelos matemáticos selecionados para descrever a variação do módulo de elasticidade e do módulo de ruptura em função da densidade básica aparente à 12% de umidade explicaram, respectivamente, 46 e 51% da variação total dos dados.
- q) Os modelos selecionados para descrever a variação do módulo de elasticidade e do módulo de ruptura em função da densidade básica apresentaram baixo $R^2_{aj.}$ e alto S_{yx} .
- r) Os fatores espaçamento e adubação também não influenciaram a produção de massa seca por hectare (t/ha), não havendo diferença significativa entre as médias dos tratamentos estudados, aos 126 meses de idade.

5.2 Recomendações

Após a realização deste estudo, sugere-se:

- 1) a realização de trabalhos com enfoque nos aspectos anatômicos, químicos e fisiológicos das árvores, a fim de procurar as causas do aumento da densidade básica e de outras propriedades da madeira em árvores mais vigorosas;
- 2) ensaios com uma maior amplitude de espaçamentos e doses de adubo, com o objetivo de determinar a melhor alternativa para a produção de madeira;
- 3) verificar se outras técnicas silviculturais, tais como desbastes e desramas interferem na qualidade da madeira.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard methods of testing small clear specimens of timber**, D143-94. Philadelphia, PA, 1995a. p.23-37.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard practice for sampling forest trees for determination of clear wood properties**, D5536-94. Philadelphia, PA, 1995b. p.564-571.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Test methods for specific gravity of wood and wood-base material**, D2395-93. Philadelphia, PA, 1995c. p.348-355.
- ANDRADE, A.M., VITAL, B.R., BARROS, N.F. et al. Efeitos da fertilização mineral e da calagem do solo na produção e na qualidade da madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, v.18, n.1, p.69-78, 1994.
- ASSIS, R.L., FERREIRA, M.M., MORAIS, E.J. et al. Produção de biomassa de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake sob diferentes espaçamentos na região de cerrado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.23, n.2, p.151-156, 1999.
- BALLONI, E.A. Fertilização florestal. **Boletim Informativo IPEF**, v.6, n.16, p.A1-A34, 1978.
- BALLONI, E.A., SIMÕES, J.W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **IPEF**, 1980. 16p. (Série Técnica, 3).
- BAMPI, P. Manejo de Pinus na empresa Papel e Celulose Catarinense – PCC. In: SIMPÓSIO MANEJO DE FLORESTAS PLANTADAS, Esteio, 1991. **Anais...** Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1991. p. 48-66.
- BARRICHELLO, L.E.G., BRITO, J.O., MIGLIORINI, A.J. Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus* spp. **Silvicultura**, v.8, n.28, p.726-31, 1983.
- BARROS, N.F., NOVAIS, R.F., CARDOSO, J.R. et al. Algumas relações solo-espécies de eucalipto em suas condições naturais. In: BARROS, N.F., NOVAIS, R.F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p.1-24.
- BLANCO, J.J., RAMOS, L., ROMERO, F.A. et al. Comportamiento de *Pinus tropicalis* en cinco espaciamentos de plantación en los suelos ferralíticos

cuarcíticos amarelos de Viñales, Cuba. **Revista Forestal Baracoa**, v.18, n.2, p.21-30, 1988.

BODIG, J., JAYNE, B.A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1982.

BRASIL, M.A.M., FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw, *Eucalyptus saligna* Smith e *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden aos 5 anos de idade, em função do local e do espaçamento. **IPEF**, v.2, n.3, p.129-49, 1971.

BRASIL, M.A.M. **Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus propinqua* Deane ex Maiden em função do local e do espaçamento**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1972. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1972.

BRITO, J.O., FERRAZ, E.S.B., BARRICHELO, L.E.G. et al. A adubação mineral e seus efeitos sobre os anéis de crescimento da madeira de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*. **IPEF**, v.32, p.5-17, 1986.

BUSNARDO, C.A., GONZAGA, J.V., FOELKEL, C.E.B. et al. Em busca da qualidade ideal da madeira do eucalipto para produção de celulose: II. Inter-relações entre propriedades das árvores e de suas madeiras. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3., 1983, São Paulo. **Anais...** São Paulo, ABCP, 1983a. v.1, p.31-47.

_____. Em busca da qualidade ideal da madeira do eucalipto para produção de celulose: III. A importância da altura de amostragem para avaliação da densidade básica média da árvore. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3., 1983, São Paulo. **Anais...** São Paulo, ABCP, 1983b. v.1, p.55-72.

CALORI, J.V., KIKUTI, P. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos 20 anos de idade. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALIPTS, Salvador, 1997. **Anais...** Colombo: EMBRAPA, 1997. v.3.

CAMPOS, J.C.C., TREVISOL JR., T.L., TORQUATO, M.C. et al. Aplicação de um modelo compatível de crescimento e produção de densidade variável em plantações de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.10, n.2, p.121-134, 1986.

CAMPOS, J.C.C., LEITE, H.G. SOUZA, R.N. et al. Relações entre espaçamento, volume e peso de madeira em plantações de eucalipto. **Revista Árvore**, v.14, n.2, p.119-133, 1990.

- COUTO, H.T.Z., BASTOS, N.L.M. Curvas de crescimento em volume para *Eucalyptus* em 2ª rotação no Estado de São Paulo. **IPEF**, v.34, p.15-21, 1986.
- COUTO, L. **Influência do espaçamento no crescimento do *Eucalyptus urophylla* de origem híbrida cultivado na região de Coronel Fabriciano – Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 1977. 54 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1977.
- COUTO, L., BRANDI, R.M., CONDÉ, A.R. et al. Influência do espaçamento no crescimento do *Eucalyptus urophylla*, de origem híbrida, cultivado na região de Coronel Fabriciano, MG. **Revista Árvore**, v.1, n.2, p.57-71, 1977.
- DANIEL, T.W., HELMS, J.A., BACKER, F.S. **Principles of silviculture**. New York: McGraw-Hill, 1979. 492 p.
- DELLA LUCIA, R.M., VITAL, B.R. Características físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, v.4, n.1, p. 70-74, 1980.
- _____. Propriedades físicas da madeira de três regiões do tronco de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, v.7, n.1, p. 71-75, 1983.
- DURLO, M.A. **Tecnologia da madeira: peso específico**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1991. 29 p. (Série Técnica, 8)
- ELLIOTT, G.K. **Wood density in conifers**. Oxford: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1970. 44p. (Comunicação Técnica, 8)
- FERREIRA, M. **Estudo da variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reiw e *Eucalyptus saligna* Smith**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1968. 71 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1968.
- FERREIRA, M., KAGEYAMA, P.Y. Melhoramento genético da densidade da madeira de eucalipto. **Boletim Informativo IPEF**, v.6, n.20, p.A1-A15, 1978.
- FINGER, C.A.G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269 p.
- FISHWICK, R.W. Estudos de espaçamentos e desbastes em plantações brasileiras. **Brasil Florestal**, v.7, n.26, p.13-23, 1976.
- FLORES, D.M.M. **Variação das características dendrométricas, da qualidade da madeira e da celulose entre árvores de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith**. Santa Maria: UFSM, 1999. 87 p.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, 1999.

FOELKEL, C.E.B. Madeiras de eucalipto: da floresta ao digestor. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 11, 1978, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Celulose e Papel, 1978. P.E1-E25.

FOELKEL, C.E.B., MORA, E., MENOCELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. **O papel**, n.5, 1992.

FONSECA, S.M., OLIVEIRA, R.C., SILVEIRA, P.N. Seleção da árvore industrial. **Revista Árvore**, v.20, n.1, p.69-85, 1996.

FONSECA, S.M., FERNANDES, D.E., BORGES, J.F. et al. Efeitos do espaçamento e da idade de corte sobre a produtividade e qualidade da madeira e o custo da celulose kraft de eucalipto. **O papel**, n.9, p.61-70, 1997.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Práticas de plantación forestal en América Latina**. Roma, 1960. (Cuadernos de fomento forestal, 15)

GARCIA, C.H.; CORRADINE, L., ALVARENGA, S.F. Comportamento florestal do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em diferentes espaçamentos. **IPEF**, 1991. 8 p. (Circular Técnica, 179).

GARCIA, J.N., LIMA, I.L. Propriedades físicas e mecânicas como indicadores de seleção – I. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, 1990. v.3, p.685-689.

GARCIA, S.L.R. **Importância de características de crescimento, de qualidade da madeira e da polpa na diversidade genética de clones de eucalipto**. Viçosa: UFV, 1998. 103 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.

GARLET, V.N. **Influência do espaçamento das árvores de *Eucalyptus grandis* na qualidade da madeira para produção de polpa celulósica kraft**. Viçosa: UFV, 1994. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1994.

GONZAGA, J.V. **Qualidade da madeira e da celulose kraft de treze espécies de *Eucalyptus***. Viçosa: UFV, 1983. 119 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1983.

- GORGULHO, E.P. **Avaliação de progênies de *Eucalyptus pyrocarpa* em diferentes espaçamentos.** Lavras: ESAL, 1990. 81 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Lavras, 1990.
- GUIMARÃES, D.P. **Predição do crescimento volumétrico de *Eucalyptus grandis*.** Planaltina-DF: EMBRAPA-CPAC, 1982. (Boletim de Pesquisa, 9)
- GUIMARÃES, R.F. Ensaio de espaçamentos em *Eucalyptus saligna*, para produção de lenha. **Anuário Brasileiro de Economia Florestal**, v.9, n.9, p.144-172, 1957.
- HUSCH, B., MILLER, C.I., BEERS, T.W. **Forest mensuration.** New York: The Ronald Press Co., 1972. 410 p.
- IPEF. **Influência da espécie, do espaçamento e da adubação na produção de madeira de eucalipto.** 4 p., 1976. (Circular Técnica, 12)
- JACOB, W.S., BALLONI, E.A. Efeitos da fertilização na qualidade da madeira. **Boletim Informativo IPEF**, v.6, n.20, p.C1-C12, 1978.
- JOHNSTON, D.R., GRAYSON, A.J., BRADLEY, R.T. **Planeamento florestal.** Tradução por Jaime Salazar Sampaio. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1967. 798 p. Tradução de: Forest Planning.
- KELLISON, R.C., RUSS, L., FREDERICK, D.J. Effect of silvicultural practices on wood quality of southern hardwoods. **Tappi Journal**, v.66, n.1, p. 67-69, 1983.
- KIKUTI, P., NAMIKAWA, I.S. Estudo da interação clone x níveis da adubação em *Eucalyptus saligna*. **O papel**, n.3, p.37-44, 1990.
- KLEIN, J.E.M., FREITAS, A.J.P. Influência do espaçamento na produção de *Eucalyptus saligna* Smith. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 6., 1988, Nova Prata. **Anais...** Nova Prata, 1988. p. 479-492.
- KOLLMANN, F.F.P., CÔTÉ, W.A. **Principles of wood science and technology:** I. Solid Wood. New York: Springer-Verlag, 1968. 592 p.
- LAHR, F.A.R., MASCIA, N.T. Metodologia do ensaio de peças de madeira à flexão estática. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2., 1986, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 1986. p.114-132.
- LAND, S.B., DICKE, S.G., TUSKAN, G.A. et al. Genetic, site, and within-tree variation in specific gravity and moisture content of young sycamore trees. **Tappi Journal**, v.66, n.3, p.149-153, 1983.

- LEMOS, R.C., AZOLIM, M.A.D., BRANDÃO, P.U. et al. **Levantamento e reconhecimento dos solos de Estado do Rio Grande do Sul**. Recife: Ministério da Agricultura, Departamento Nacional de Pesquisas Agropecuárias - Divisão de Pesquisas Pedológicas, 1973. 431 p. (Boletim Técnico, 30).
- LIMA, J.T., DELLA LUCIA, R.M., VITAL, B.R. Influência do teor de umidade nas propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith. **Revista Árvore**, v.10, n.1, p.27-43, 1986.
- LOPEZ, J.A., APARICIO, J.L. Crecimiento y producción de *Eucalyptus grandis* com diferentes densidades de plantación (Información hasta el 12^o año de edad). **INTA**, Bella Vista - Corrientes - República Argentina, 1995. 12 p. (Informe Técnico n^o 8).
- MALAN, F.S. Variación, asociación y herencia de las propiedades de la madera juvenil en *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, com referencia especial al efecto de la tasa de crecimiento **Selección de temas agropecuarios**, s.d.
- MALAN, F.S., HOON, M. Effect of initial spacing and thinning on some wood properties of *Eucalyptus grandis*. **South African Forestry Journal**, n.163, p.13-20, 1992.
- MANGIERI, H.R., DIMITRI, M.J. **Los eucaliptos en la silvicultura**. Buenos Aires: Acme, 1971. 226 p.
- MARCOLIN, M., COUTO, H.T.Z. Modelos de produção e crescimento de *Pinus taeda* desbastado na região de Telêmaco Borba-PR. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., 1993. Curitiba, PR. **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, 1993.
- MELLO, H.A., MASCARENHAS SOBRINHO, J., SIMÕES, J.W. et al. Resultados da aplicação de fertilizantes minerais na produção de madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. Em solos de cerrado do Estado de S. Paulo. **IPEF**, n.1, p.7-26, 1970.
- _____. Influência do espaçamento na produção de madeira de eucalipto em solo de cerrado. **IPEF**, v.2/3, p.3-30, 1971.
- _____. Influência da espécie, do espaçamento e da idade no custo de produção de madeira industrial. **IPEF**, v.5, p.17-28, 1972.
- _____. Influência do espaçamento e da idade de corte na produção de madeira de eucalipto em solo de cerrado. **IPEF**, v.13, p.143-62, 1976.
- MIGLIORINI, A.J. **Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden em função de diferentes níveis de produtividade da floresta**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1986. 89

- p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1986.
- MITCHELL, H.L. Development of an adequate concept of wood quality for the guidance of genetics and forest managers. In: FIFTH WORLD FORESTRY CONGRESS PROCEEDINGS. **Anais...** s.d.
- MONTEIRO, R.F.R., CORDEIRO, J.A., KIKUTI, P. Competição entre espaçamentos com *Eucalyptus dunnii* Maiden. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 5., 1984. Nova Prata, RS. **Anais...** Nova Prata, 1984.
- MORA, A.L. **Interação com espaçamento e locais em clones de *Eucalyptus* spp. no norte do Estado da Bahia.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1986. 116 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1986.
- ODA, S., MELLO, E.J., MENCK, A.L.M. et al. Variação da densidade básica da madeira de clones de *E. grandis* e *E. saligna* em diferentes espaçamentos, com 6 anos de idade. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990. Campos do Jordão, SP. **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, 1990. p.701-705.
- PANSHIN, A.J., ZEEUW, C. **Textbook of wood technology.** New York: McGraw-Hill, 1964. 404 p.
- PATIÑO-VALERA, F. **Variação genética em progênies de *Eucalyptus saligna* Smith e sua interação com espaçamento.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1986. 192 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1986.
- RENSI COELHO, A.S., MELLO, H.A., SIMÕES, J.W. Comportamento de espécies de eucaliptos face ao espaçamento. **IPEF**, v.1, p.29-55, 1970.
- REZENDE, M.A., SAGLIETTI, J.R.C., CHAVES, R. Variação da massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* aos 8 anos de idade em função de diferentes níveis de produtividade. **Scientia Forestalis**, n.53, p.71-78, 1998.
- RIZZINI, C.T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil:** manual de dendrologia brasileira. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1978.
- ROCHA, J.S., PAULA, E.V.C.M., SIQUEIRA, M.L. Flexão estática em amostras pequenas livres de defeitos. **Acta Amazonia**, v.18, n.½, p.147-162, 1988.
- SAS – STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM:** Programa de computador, ambiente VM. Cary, 1993. Versão 6.08.

- SCHACHT, L. **Variação de caracteres e suas implicações para o melhoramento genético da madeira serrada em *Eucalyptus urophylla***. Piracicaba: ESALQ/USP, 1998. 58 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1998.
- SCHILLING, A.C. **Influência da desrama sobre a qualidade da madeira de primeiro desbaste de *Pinus elliottii* Engelm.** Santa Maria: UFSM, 1996. 73 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, 1996.
- SCHNEIDER, P.R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF-FATEC, 1993. 348 p.
- _____. **Análise de regressão aplicada à engenharia florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1997. 217 p.
- SCHÖNAU, A.P.G. The effect of planting spacing and pruning on growth, yield and timber density of *Eucalyptus grandis*. **South African Forestry Journal**, n.88, p.16-23, 1974.
- SHIMOYAMA, V. R. S. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira da madeira em *Eucalyptus* spp.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1990. 101 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1990.
- SILVA, J.F. **Variabilidade genética em progênies de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e sua interação com espaçamentos**. Viçosa: UFV, 1990. 126p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1990.
- SILVEIRA, R.L.V.A., HIGASHI, E.N. Produzindo mudas de eucaliptos. **Revista Referência**, n.1, p.34-36, 1999.
- SILVEIRA, V., ROSADO, S.C.S., TRUGILHO, P.F. et al. Interação entre clones de *Eucalyptus* e ambientes definidos pela qualidade de sítio e espaçamentos. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALIPTS, Salvador, 1997. **Anais...** Colombo: EMBRAPA, 1997. v.1.
- SIMÕES, J.W. et al. Crescimento e produção de madeira de eucalipto. **IPEF**, v.20, p.77-97, 1980.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. Situación del sector forestal en Brasil. In: JORNADAS FORESTALES ENTRE RIOS – I Encuentro Forestal CEDEFOR del Mercosul, 13, 1998, Concordia. **Anais...** Concordia, 1998. Separatas.

- SOUZA, A.P., DELLA LUCIA, R.M., RESENDE, G.C. Estudo da densidade básica da madeira de *Eucalyptus microcorys* F. Muell, cultivado na região de Dionísio, MG. **Revista Árvore**, v.3, n.1, p.16-27, 1979.
- SOUZA, D.R. **Efeito do espaçamento na produtividade volumétrica da madeira em povoamento de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* até os 16 anos de idade.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1995. 97 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1995.
- SOUZA, R.N. **Efeito de dois espaçamentos na produção em peso e volume de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden).** Viçosa: UFV, 1989. 102 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1989.
- TAYLOR, C.J. **Introdução à silvicultura tropical.** Tradução por Helládio do Amaral Mello. São Paulo: Edgard Blücher, 1969. 200 p. Tradução de: Tropical forestry.
- TEIXEIRA, M.L. et al. Avaliação da qualidade da madeira de seringueira *Hevea* sp para produção de celulose e carvão vegetal. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., 1993. Curitiba, PR. **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, 1993.
- TURNBULL, J.W., PRYOR, L.D. Choice of species and seed sources. In: HILLIS, W.E., BROWN, A.G. **Eucalypts for wood production.** Adelaide: CSIRO, 1978. p.6-65.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Forest Service. **Wood Handbook:** wood as an engineering material. Washington: Department of Agriculture, 1987. 466 p.
- VALE, A.B., PAIVA, H.N., FELFILI, J.M. et al. Influência do espaçamento e do sítio na produção florestal. **Boletim Técnico SIF**, n.4, 1982. 20 p.
- VALERA, F.P., KAGEYAMA, P.Y. Interação genótipo x espaçamento em progênies de *Eucalyptus saligna* Smith. **IPEF**, Piracicaba, v.39, p.5-16, 1988.
- VALERI, S.V., AGUIAR, I.B., BANZATTO, D.A. et al. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden com a altura do caule e aplicação de fósforo e calcário dolomítico. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990. Campos do Jordão, SP. **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, 1990. p.746-750.
- VALERI, S.V., ISMAEL, J.J., VALLE, C.F. et al. Produção de madeira para celulose e energia de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos quatro anos de idade em função da densidade de plantio. In: IUFRO CONFERENCE

ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALIPTS, Salvador, 1997. **Anais...** Colombo: EMBRAPA, 1997. v.3.

VITAL, B.R., PEREIRA, A.R., DELLA LUCIA, R.M. Influência do espaçamento na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* aos 30 meses de idade. **Revista Árvore**, v.5, n.2, p.210-217, 1981.

VITAL, B.R. Reflexos da fertilização mineral na qualidade e na utilização da madeira. In: BARROS, N.F., NOVAIS, R.F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p.323-330.

VITAL, B.R., DELLA LUCIA, R.M. Efeito do espaçamento na produção em peso e na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* aos 52 meses de idade. **Revista Árvore**, v.11, n.2, p.132-145, 1987.

WEHR, J.P.P. **Espaçamento de plantio**: efeito na qualidade, economicidade e produtividade. Piracicaba, 1982. (Seminário apresentado na disciplina de Formação e Manejo de Povoamentos Florestais – Curso de Pós-graduação)

YARED, J.A.G.; LEITE, H.G. & SILVA, R.R.F. Volumetria e fator de forma de morotó (*Didymopanax morototonii* Aubl. Decne. et Planch.) sob diferentes espaçamentos. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1, 1993. Curitiba, PR. **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, 1993.

ZOBEL, B. Silvicultural effects on wood properties. **IPEF International**, v.2, p.31-38, 1992.

ZOBEL, B.J., JETT, J.B. **Genetics of wood production**. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 337 p.

ANEXOS

ANEXO I – (Seção 4.1.2) Análise de variância para altura (h) em função do espaço vital (s) e da adubação (a).

FV	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Fator a	1	0,1875	0,1875	0,40 ^{ns}	0,5520
Fator s	2	38,6067	19,3033	40,85*	0,0003
a x s	2	3,2600	1,6300	3,45 ^{ns}	0,1006
Erro	6	2,8350			
Total	11	44,8892			

C.V.% = 2,06

*Significativo ao nível $\alpha=5\%$ de probabilidade de erro.

^{ns}Não significativo ao nível de confiança estabelecido.

ANEXO II – (Seção 4.1.2) Análise de variância para DAP em função do espaço vital (s) e da adubação (a).

FV	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Fator a	1	0,0533	0,0533	0,18 ^{ns}	0,6863
Fator s	2	65,7867	32,8933	110,88*	0,0001
a x s	2	2,5867	1,2933	4,36 ^{ns}	0,0677
Erro	6	1,7800			
Total	11	70,2067			

C.V.% = 2,38

*Significativo ao nível $\alpha=5\%$ de probabilidade de erro.

^{ns}Não significativo ao nível de confiança estabelecido.

ANEXO III – (Seção 4.1.3) Análise de variância para vcsc em função do espaço vital (s) e da adubação (a).

FV	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Fator a	1	0,00017	0,00017	0,30 ^{ns}	0,6055
Fator s	2	0,15525	0,07763	138,40*	0,0001
a x s	2	0,00060	0,00030	0,53 ^{ns}	0,6120
Erro	6	0,00336			
Total	11	0,15938			

C.V.% = 4,28

*Significativo ao nível $\alpha=5\%$ de probabilidade de erro.

^{ns}Não significativo ao nível de confiança estabelecido.

ANEXO IV – (Seção 4.1.4) Análise de variância para V/ha em função do espaço vital (s) e da adubação (a).

FV	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Fator a	1	3667,30	3667,30	4,53 ^{ns}	0,0774
Fator s	2	6866,28	3433,14	4,24 ^{ns}	0,0712
a x s	2	958,52	479,26	0,59 ^{ns}	0,5827
Erro	6	4860,21			
Total	11	16352,31			

C.V.% = 4,49

*Significativo ao nível $\alpha=5\%$ de probabilidade de erro.

^{ns}Não significativo ao nível de confiança estabelecido.

ANEXO V – (Seção 4.2.1) Análise de variância para densidade básica (db) em função do espaço vital (s) e da adubação (a).

FV	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Fator a	1	0,002247	0,002247	32,43*	0,0001
Fator s	2	0,004184	0,002092	30,20*	0,0001
a x s	2	0,000093	0,000046	0,67 ^{ns}	0,5162
Erro	54	0,003741			
Total	59	0,010265			

C.V.% = 2,00

*Significativo ao nível $\alpha=5\%$ de probabilidade de erro.

^{ns}Não significativo ao nível de confiança estabelecido.

ANEXO VI – (Seção 4.2.2.1) Análise de variância para MOE em função do espaço vital (s) e da adubação (a).

FV	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Fator a	1	8520068488	8520068488	43,98*	0,0001
Fator s	2	2545148239	1272574119	6,57*	0,0015
Pos. tora	1	2027402125	2027402125	10,46*	0,0013
a x s	2	658320880	329160440	1,70 ^{ns}	0,1840
Erro	454	87957401288			
Total	460	101708341019			

C.V.% = 14,41

*Significativo ao nível $\alpha=5\%$ de probabilidade de erro.

^{ns}Não significativo ao nível de confiança estabelecido.

ANEXO VII– (Seção 4.2.2.2) Análise de variância para MOR em função do espaço vital (s) e da adubação (a).

FV	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Fator a	1	451189,3	451189,3	43,70*	0,0001
Fator s	2	681844,6	340922,3	33,02*	0,0015
Pos. tora	1	118585,8	118585,8	11,49*	0,0013
a x s	2	99615,3	49807,6	4,82*	0,1840
Erro	454	4687197,6			
Total	460	6038432,5			

C.V.% = 14,07

*Significativo ao nível $\alpha=5\%$ de probabilidade de erro.

ANEXO VIII– (Seção 4.3) Análise de variância para t/ha em função do espaço vital (s) e da adubação (a).

FV	GL	SQ	QM	F	Prob>F
Fator a	1	597,84	597,84	4,52 ^{ns}	0,0776
Fator s	2	1118,74	559,37	4,23 ^{ns}	0,0714
a x s	2	155,76	77,88	0,59 ^{ns}	0,5840
Erro	6	793,17			
Total	11	2665,52			

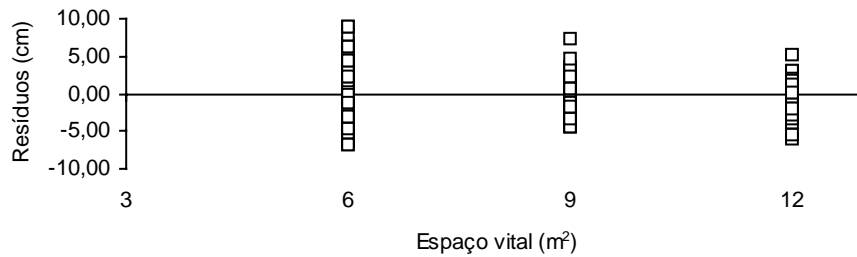
C.V.% = 4,49

*Significativo ao nível $\alpha=5\%$ de probabilidade de erro.

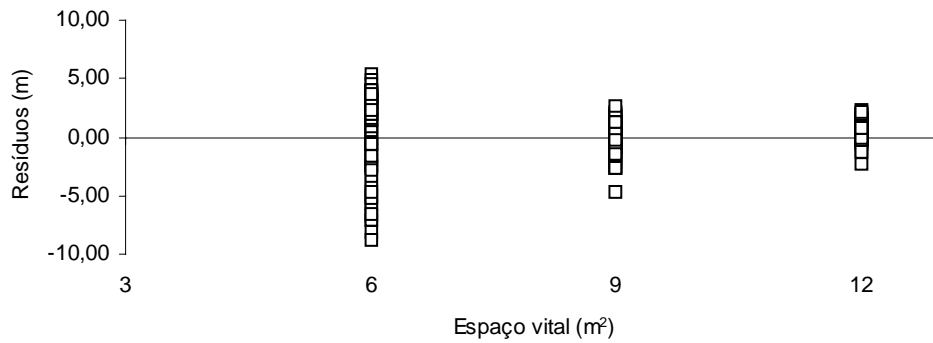
^{ns}Não significativo ao nível de confiança estabelecido.

APÊNDICES

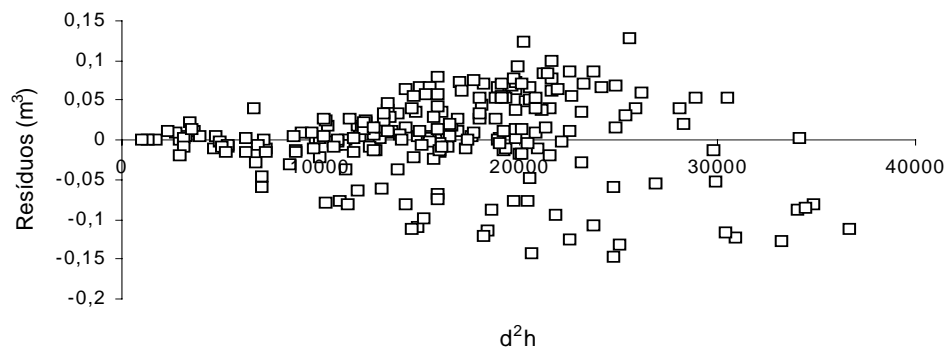
APÊNDICE A – (Seção 4.1.2) Análise gráfica de resíduos do modelo de regressão: $DAP = b_0 + b_1 \cdot s$



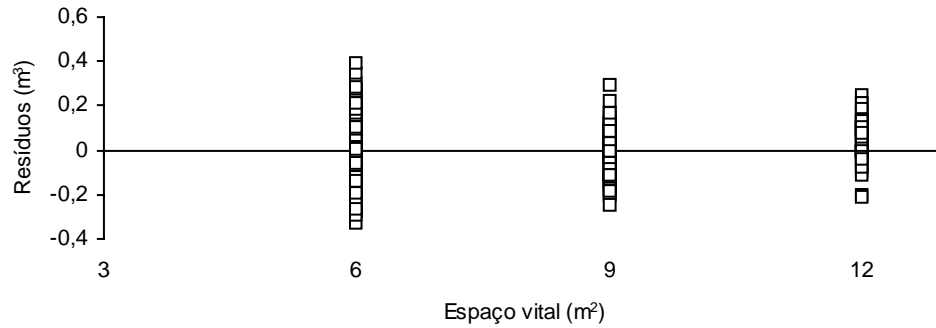
APÊNDICE B – (Seção 4.1.2) Análise gráfica de resíduos do modelo de regressão: $h = b_0 + b_1 \cdot s + b_2 \cdot a^3 + b_3 \cdot \frac{1}{s}$



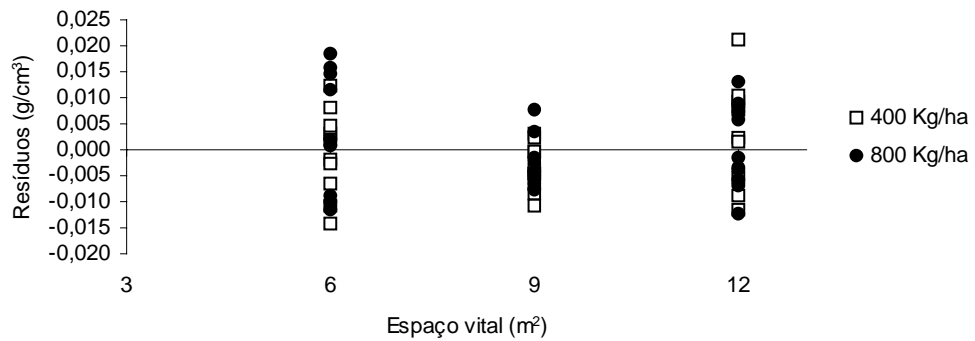
APÊNDICE C – (Seção 4.1.3) Análise gráfica de resíduos do modelo de regressão: $\ln v = b_0 + b_1 \cdot \ln d + b_2 \cdot \ln^2 d + b_3 \cdot \ln h + b_4 \cdot \ln^2 h$



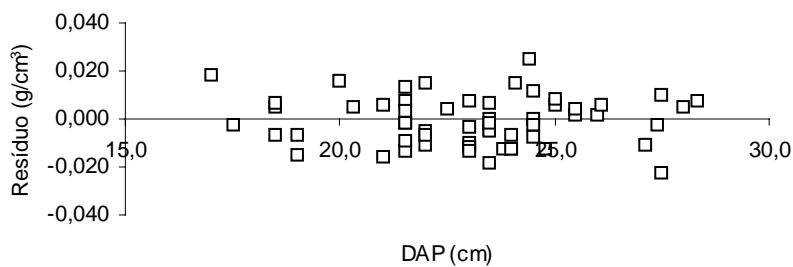
APÊNDICE D – (Seção 4.1.3) Análise gráfica de resíduos do modelo de regressão: $vcsc = b_0 + b_1.s$



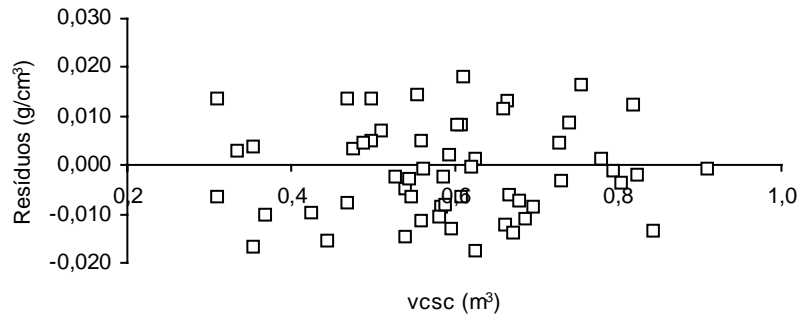
APÊNDICE E – (Seção 4.2.1) Análise gráfica de resíduos do modelo de regressão: $db = b_0 + b_1.s^2a$



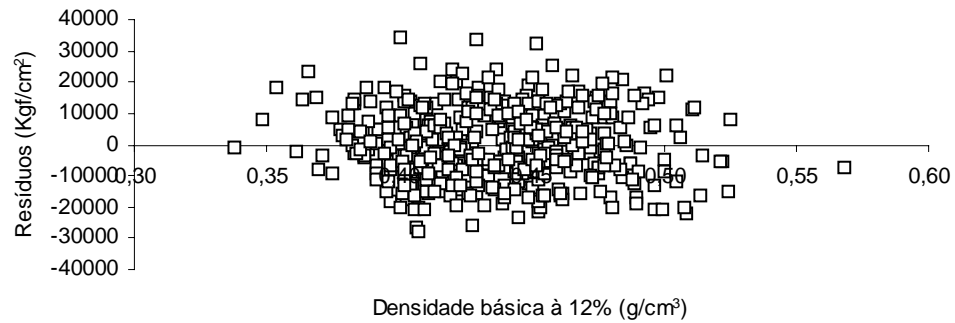
APÊNDICE F – (Seção 4.2.1.1) Análise gráfica de resíduos do modelo de regressão: $db = b_0 + b_1.DAP^3$



APÊNDICE G – (Seção 4.2.1.1) Análise gráfica de resíduos do modelo de regressão: $db = b_0 + b_1.vcsc^3$



APÊNDICE H – (Seção 4.2.2.3) Análise gráfica de resíduos do modelo de regressão: $MOE = b_0 + b_1.d^2$



APÊNDICE I – (Seção 4.2.2.3) Análise gráfica de resíduos do modelo de regressão: $MOR = b_0 + b_1.ln d$

